



MODELOVÁNÍ VLIVU ŠÍŘENÍ FÁM V EKONOMICKÝCH ROZHODOVACÍCH PROBLÉMECH

HABILITAČNÍ PRÁCE
OBOR PRÁCE: EKONOMIKA A MANAGEMENT

BRNO 2019

KAREL DOUBRAVSKÝ

Anotace

Cílem práce je představit nové formální nástroje k popisu, řešení a interpretaci ekonomických rozhodovacích a predikčních problémů při uvažování vlivu šíření fám. Práce je rozdělena do tří hlavních částí. V první části jsou shrnuty soudobé poznatky modelování šíření fám, trendového modelování a rozhodovací analýzy v problémech ekonomie. Druhá část práce se věnuje popisu nových formálních nástrojů pro práci s velmi neurčitými informacemi v ekonomických problémech, které jsou založeny na trendovém modelování a rozhodovací analýze za neurčitosti. Ve třetí části práce je ukázáno použití navrhovaných nástrojů ve vybraných problémech ekonomie z oblasti investic a počáteční veřejné nabídky akcií (IPO); tedy v rozhodovacích a predikčních úlohách.

Klíčová slova

Trendový model šíření fám, ekonomické komplexní úlohy, přechodový graf, trendový strom, ekonomické rozhodovací úlohy, ekonomické predikční úlohy.

Abstract

The aim of the habilitation thesis is to introduce new formal tools for describing, solving and interpreting economic decision-making and prediction problems when effects of rumours spreading are considered. The thesis is divided into three main parts. The first part of the thesis summarizes the contemporary knowledge of modeling the propagation of rumours, a trend modeling and a decision-making in economics issues. The second part of the thesis deals with the description of new formal tools for working with very vague information in economic issues which are based on trend modeling and decision analysis under uncertainty. The third part of the thesis shows the use of these proposed new formal tools in economics issues from the field of investments and initial public offerings (IPOs); i.e. for decision-making and prediction tasks.

Keywords

Trend model of a rumour spreading, economics complex issues, transition graph, trend tree, economic decision-making task, prediction in economics tasks.

Bibliografická citace práce

DOUBRAVSKÝ, K. *Modelování vlivu šíření fám v ekonomických rozhodovacích problémech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2019. 174 s.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená habilitační práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne

Poděkování

Autor by rád poděkoval všem svým blízkým za jejich neocenitelnou podporu při psaní této práce.

Obsah

Úvod	11
Cíl práce	13
1 Současné formální nástroje pro práci s velmi neurčitými informacemi v ekonomických problémech	14
1.1 Fáma jako informační fenomén	14
1.1.1 Fáma od historie po současnost	15
1.1.2 Používané matematické přístupy modelování fám . . .	19
1.1.3 Obtíže modelování fám	25
1.1.4 Návrh trendového modelování šíření fám	26
1.2 Současný stav trendového modelování	27
1.2.1 Trendový model	30
1.2.2 Přejímový graf	49
1.2.3 Problémy při tvorbě a řešení trendových modelů	60
1.3 Současný stav v teorii rozhodování	61
1.3.1 Základní pojmy	62
1.3.2 Rozhodování za neurčitosti	63
1.3.3 Rozhodovací strom	65
1.3.4 Problémy reálných rozhodovacích problémů	67

2	Nové formální nástroje pro práci s velmi neurčitými informacemi v ekonomických problémech	70
2.1	Přechodový graf při zanedbání druhých derivací	70
2.1.1	Redukce transformační tabulky	71
2.1.2	Výhody navrhovaného přístupu	72
2.2	Nový přístup pro vyhodnocení přechodového grafu	73
2.2.1	Trendový strom	74
2.2.2	Postup určení trendového stromu	77
2.2.3	Výhody navrhovaného postupu	82
2.3	Lineární rekonstrukce modelu pomocí trendů	85
2.4	Nový přístup řešení rozhodovacích úloh za neurčitosti	87
2.4.1	Heuristika	87
2.4.2	Výpočet vodních pravděpodobností uzlů rozhodovacího stromu	90
2.4.3	Částečná nevědomost	93
2.4.4	Fuzzy kompromis rozhodovacích úloh	93
2.4.5	Vyhodnocení rozhodovacího stromu	97
2.4.6	Výhody navrhovaného přístupu	99
2.5	Praktické využití navrhovaného přístupu	99
2.5.1	Rozhodování o stavbě další továrny	100
2.5.2	Řešení rozhodovacího problému za celkové nevědomosti	102
2.5.3	Řešení rozhodovacího problému za částečné nevědomosti	103
2.5.4	Vyhodnocení rozhodovacího stromu	105
3	Užití nových formálních nástrojů při modelování vlivu fám v ekonomických rozhodovacích problémech	107
3.1	Řešení základního modelu šíření fám	107

3.1.1	Řešení modelu při uvažování druhých derivací	109
3.1.2	Řešení modelu při zanedbání druhých derivací	114
3.2	Rozšíření modelu o další proměnnou	119
3.2.1	Promořenost populace fámou	120
3.2.2	Přidání proměnné zisk k modelu	121
3.2.3	Model šíření dvou fám a rozhodovací úlohy	128
3.2.4	Model šíření fámy a její dopad na počáteční veřejnou nabídku akcií	136
3.3	Lineární rekonstrukce modelu	149
	Závěr	153
	Literatura	155
	Seznam tabulek	166
	Seznam obrázků	169
	Rejstřík	172

Úvod

Každá reálná rozhodovací úloha má komplexní a mezioborový charakter, výjimkou nejsou ani rozhodovací úlohy v oblastech investic, počáteční veřejné nabídky akcií, managementu atd. Komplexnost rozhodovacích úloh má za následek, že je potřebné uvažovat jednak aspekty, které mají na danou úlohu dopad, tak i samotný dopad řešené úlohy na další oblasti lidské činnosti, například sociologii, ekologii, udržitelnost rozvoje a investic apod.

Mezioborový charakter rozhodovacích úloh má za následek, že každý obor přispívá k rozhodování svou vlastní skupinou vstupních informací. Výsledné rozhodnutí je pak výsledkem zohlednění, respektive kompromisem všech těchto vstupních informací, přičemž se tyto vstupní informace mohou lišit jak svým typem, tak svým charakterem.

Vstupní informace mohou být dominantně subjektivní, například zkušenosti a pocity, částečně subjektivní, například vlastní pozorování, respektive měření, literární zdroje a slovní popisy, dominantně objektivní, například matematické modely a statistické modely. Existují však i vstupní informace, jejichž zařazení do jednotlivých kategorií není zcela jednoznačné. Mezi takovéto informace patří fámy.

Šíření fám je systematicky studováno již od období druhé světové války a existují modely, popisující toto šíření, založené na soustavách rovnic nebo metodách umělé inteligence. S rychlým rozvojem informačních technologií vstupuje studium vlivu šíření fám opět do popředí zájmu.

V poslední době se fámy nejčastěji šíří ve formě tzv. falešných zpráv (fake news) (viz poslední významné volby ve světě i v České republice). Pozornost, která je věnována šíření fám, respektive falešných zpráv, je silně specifická, například politická, sociologická a vojenská. Nicméně, šíření fám, respektive falešných zpráv se nevyhýbá ani oblasti ekonomie, finančních trhů, managementu apod. Například rozhodování o investicích ve velkém měřítku je silně ovlivněno falešnými zprávami. Široká řada významných anomálií, například na akciových trzích, posílila pochybnosti o klasické finanční teorii a zvýšila

zájem o možnosti modelovat nálady investorů.

Z těchto důvodů je potřebné přistupovat k řešeným problémům ekonomie komplexně a uvažovat i aspekty, které mají dopad na řešený problém. Mnoho prací poukazuje na to, že finanční trhy a finanční sektor jsou často řízeny citem, náladami a dalšími aspekty. Nicméně, nedostatek nebo zkreslování vstupních informací (viz výše uvedený výčet) má za následek neurčitost těchto vstupních informací, a z tohoto důvodu neumožňuje dostatečně statisticky podložit studium chování těchto jevů. To je hlavní důvod, proč jsou v této práci popsány nové formální nástroje pro práci s velmi neurčitými informacemi v ekonomických rozhodovacích problémech.

Předkládaná práce je rozdělena do tří hlavních částí. V první části jsou shrnuty soudobé poznatky modelování šíření fám a rozhodovací analýzy v problémech ekonomie. Druhá část práce se věnuje popisu nového přístupu modelování šíření fám, který je založen na trendovém modelování a řešení rozhodovacích problémů za neurčitosti v problémech ekonomie. Ve třetí části práce je ukázáno použití těchto nových přístupů v rozhodovacích a predikčních úlohách, konkrétně ve vybraných problémech ekonomie z oblasti investic a počáteční veřejné nabídky akcií.

Autor

Cíl práce

Cílem práce je představit nové formální nástroje pro práci s velmi neurčitými informacemi v ekonomických rozhodovacích problémech. Tyto nové nástroje umožní komplexní pohled na řešené ekonomické rozhodovací problémy s uvažováním i tak vágních aspektů, jako je například fáma.

Tyto nástroje jsou založeny na trendovém modelování, rozhodovacích problémech za neurčitosti, matematickém aparátu fuzzy množin, principu kompromisu a fuzzy lineárním programování.

KAPITOLA 1

Současné formální nástroje pro práci s velmi neurčitými informacemi v ekonomických problémech

☞ EKONOMICKÁ MOTIVACE

S rychlým rozvojem informačních technologií je věnována stále větší pozornost studium vlivu šíření fám. V poslední době se fámy nejčastěji šíří ve formě falešných zpráv, které se nevyhýbají ani oblasti ekonomie, finančních trhů, managementu apod. Například investice ve velkém měřítku jsou silně ovlivněny falešnými zprávami, které působí na náladu a zájmy investorů, a tak mají vliv na jejich rozhodování.

V této kapitole jsou popsány modely a přístupy, které umožňují bez znalosti kvantitativních vstupních informací popsat šíření fám a začlenit je do rozhodovacích problémů ekonomie.

1.1 Fáma jako informační fenomén

Fáma je stará jako lidstvo samotné. V nejširším smyslu se fáma chápe jako účelové sdělení informace, které určitým způsobem formuje myšlení lidí, a tím ovlivňovalo dějiny lidstva. V dějinách lidstva se můžeme setkat z řadou případů manipulace s lidmi pomocí fám. Tato manipulace pak často vyústila v sociálně i politicky, rasově i nábožensky motivované nepokoje.

Není tedy divu, že se s fámou každý z nás setkává již od dětství.

Nejpříjemnější setkání s fámou je setkání v pohádkách. Jistě si každý z nás pamatuje na známou pohádku Císařovy nové šaty od dánského spisovatele Hanse Christiana Andersena (viz obrázek 1.1), kdy malé dítě poukázalo na to, že císař na sobě nemá šaty a toto zvěst se následně rozšířila mezi všechny přihlížející.



Obrázek 1.1 Císařovy nové šaty (Zdroj: [1])

Dalším příkladem fámy, kterou každý z nás v dětství slyšel, je fáma o škvorovi, který vleze člověku do ucha a pomocí zadečkových klíčtek prokousne bubínek. Později se s fámou, a to ve formě dezinformace, setkáváme v bulvárních denících, zprávách, na sociálních sítích apod. Zvláště v elektronických médiích a na sociálních sítích se v současné době pro fámou vžil pojem *falešná zpráva* (*fake news*) [2].

V následujících částech bude popsán historický vývoj pojmu fáma a současný přístup k jejímu modelování.

1.1.1 Fáma od historie po současnost

Fáma je podle Jeana-Noëla Kapferera nejstarším sdělovacím prostředkem (viz [3]), který provází lidstvo od jeho raných dějin. Avšak vzhledem k tomu,

že šíření fám probíhalo v minulosti převážně ústně, lze první zmínky o fámě vypořádat až z rozmachem písma, tj. v období starověku.

Historické chápání fámy

Již ve starověkém Řecku byla fáma známa jako žánr vyprávění. V rámci tohoto vyprávění se často pod jménem Pheme vyskytovala postava bohyně nejistého původu, která dodávala naději.

Ve starověkém Římě najdeme zmínky o této bytosti především u Vergilia, Ovidia a v satirické formě také u Petronia. Publius Vergilius Maro (70 př. n. l.–19 př. n. l.) popsal fámu v díle Aeneis takto:

*„Pověst, jíž žádná z příšer se rychlostí nemůže rovnat,
poněvadž rychlostí roste a chůzí nabývá síly,
nesmělá zprvu a malá, však záhy se do výše zvedne,
nohama po zemi kráčí a v mracích ukrývá hlavu.
Neboť prý rodička Zem, jsouc na bohy zjitřena hněvem,
po Koiu, po Enkeladu ji zrodila, poslední sestru,
nohou nadmíru rychlých a křídel hbitosti velké,
netvor to velký, hrozný a kolik má po těle peří,
tolik má nad nimi slídivých očí,
jazyků v mluvících ústech a tolikéž vztyčených uší.
Uprostřed nebe a země se temnem za noci vznáší,
šustí a k sladkému spánku svá víčka nesklání nikdy.
Za světla sedí a slídí buď na střeších vysokých domů
anebo na vrchu věží a děsí veliká města,
výmysly mluví i lež, však také zvěstuje pravdu.“ [4]*

Pablius Ovidius Naso (43 př. n. l.–17 n. l. / 18 n. l.) popisuje fámu takto:

*„Fáma je příbytek, kde je vše vidět a slyšet.
Bytosti, které tento příbytek obývají, vždy vše,
co uslyší, pozmění a pošlou dále.“ [5]*

Jak je z úryvků patrné, oproti chápání starověkých Řeků připisují fámě starověcí Římané již i negativní vlastnosti.

Pokud měla fáma pozitivní smysl, byla personifikována vznášející se okřídlenou mladou ženou s trubkou u úst (viz obrázek 1.2). Pokud měla fáma negativní smysl, byla nejčastěji personifikována starou ošklivou ženou s klubkem hadů ve vlasech (viz obrázek 1.2). Lze se také setkat se zobrazením této

ženy s dlouhýma ušima, aby vše slyšela, nebo s křídly, aby se mohla rychle rozlétnout, a vytroubit své zvěsti.



Obrázek 1.2 Fáma (Zdroj: [6])

V novodobých dějinách probíhal systematický výzkum fámy na území USA v období druhé světové války, kdy byla zkoumána nepřátelská propaganda. Z tohoto období je nejvýznamnější prací *Psychologie fámy* od Roberta Knappa. Knapp rozdělil fámy do tří základních skupin: bogies, pipe dreams, wedge drivers (viz [7]). Knapp jako první vyslovil myšlenku, že *fáma je schopna ventilovat a uspokojovat emoční potřeby obyvatelstva*.

Prvními vědci, kteří se studiem fámy zabývali, byli psychologové a sociologové. V 80. letech následovali etnologové. V roce 1988 pak byla založena Mezinárodní společnost pro výzkum současné pověsti (International Society

for Contemporary Legend Research – ISCLR), která se studiem fám zabývá (viz [8]).

Současné chápání fámy

V rámci literárních rešerší se lze setkat s řadou vymezení pojmu fáma, které se liší dle oboru, v němž se tento pojem používá, tj. liší se formulace dle sociologů, psychologů, ekonomů apod. Lze se tedy setkat s těmito formulacemi.

- R. Knapp: *„Fáma je informace předkládaná k věření. Souvisí s aktuálním děním a je rozšiřována bez oficiálního ověření.“* [7]
- W. Peterson, N. Gist: *„Fáma je neověřená zpráva nebo vysvětlení rozšířené mezi lidmi. Týká se předmětu, události nebo otázky veřejného zájmu.“* [9]
- G. W. Allport, L. Postman: *„Fáma je sdělení, které se týká aktuálních událostí, kterému se má věřit a které se šíří od osoby k osobě zpravidla ústně. Neobsahuje údaje, podle nichž by se dala posoudit jeho pravdivost.“* [10]

Při bližším pohledu na výše uvedené formulace fámy se pro účely této publikace jeví vymezit tento pojem takto:

Fáma je účelově sdělená informace obvykle nejistého původu, která se spontánně šíří mezi lidmi, a která se vztahuje k nějakému aktuálnímu dění.

Účelem fámy je manipulovat s lidmi jak v pozitivním, tak negativním smyslu.

Je zajímavé sledovat historický posun vnímání fámy od čistě pozitivního k negativnímu smyslu. Snad je v lidské přirozenosti, že negativa jsou schopna více upoutat naši pozornost než pozitiva. Tuto skutečnost lze pozorovat například v rámci zpravodajských médií, kdy převažuje informování o negativních událostech nad pozitivními.

Doprovodný komentář

Velmi poeticky tuto skutečnost vystihl Miroslav Horníček v Listech z Provence, v Dopise panu Tartarinovi z Tarasconu takto:

„Člověk, který byl – ať už jen článkem nebo knihou – pochválen, se nemusí nic dozvědět. Donašeči neroznášejí zprávy příznivé a málokdy se najde někdo, kdo by nám řekl: Tam a tam se o vás píše dobře!“ [11, s. 31]

Šíření fám

Fáma se šíří spontánně mezi lidmi, a to ústní formou. V současné době je významným médiem šíření fám internet, především pak různé sociální sítě, např. Facebook, Twitter, Lidé.cz případně různá internetová diskusní fóra.

1.1.2 Používané matematické přístupy modelování fám

Znalost fámy ovlivňuje do určité míry chování jednotlivce, a tím i chování části společnosti. Je tedy zcela přirozené, že existuje snaha popsat její šíření. K popisu šíření fám jsou používány matematické modely, které se inspiroují v řadě oborů lidské činnosti, např. hydrodynamice (viz [12, s. 90]), fyzice, statistice (viz [13]), informatice, biologii a epidemiologii (viz [14]).

Právě epidemiologické modely jsou nejčastěji diskutované modely k popisu šíření fám (viz [13], [14]). Epidemiologie je lékařské odvětví, které se zabývá studiem faktorů ovlivňujících zdraví obyvatelstva tím, že rozpoznává rizikové faktory pro přenos nemocí a určuje optimální postup jejich léčby v klinické praxi.

Studium těchto rizikových faktorů v sobě zahrnuje zkoumání vzniku nemoci, výběr vhodné studie, sběr a analýzu dat, sestavení hypotézy a vyvození příslušných závěrů pomocí vhodných statistických metod a postupů. Při tomto studiu se epidemiologové neobejdou bez znalostí i z dalších vědeckých odvětví, např. biologie, sociologie a filozofie (viz [15]).

Doprovodný komentář

Až do počátku 20. století byla v epidemiologii zpracovávána převážně historická data, a to pomocí metod popisné statistiky; epidemiologie tak měla spíše popisný charakter. Ke zlomu v tomto přístupu dochází ve 20. století společně s tím, jak se v epidemiologii začínají uplatňovat postupy matematického modelování. Vytvoření matematických modelů umožnilo posun od popisného charakteru modelování možného vývoje šíření infekčních onemocnění.

Důležitým milníkem pro epidemiologii je zveřejnění práce Kermacka a McKendricka, kde je zaveden SIR (Susceptible-Infected-Removed) model (viz [16–18]). Tento model je s drobnými obměnami používán v medicíně, biologii a především epidemiologii, kde je aplikován na šíření infekčních onemocnění (viz [19]). SIR model hraje významnou úlohu při studiu nemoci AIDS, ať už při modelování jejího šíření nebo při modelování účinku vyvíjených léčiv (viz [20, 21]).

Základní model šíření fám

Na základě modelu SIR navrhli Goffman a Newill analogii mezi šířením infekčních onemocnění a šířením informací (viz [22]). Tuto analogii následně matematicky formalizovali Daley a Kendall, a je označována jako DK model (viz [23]). Na tuto formalizaci navázal Moreno, který navrhl kvantitativní verzi (1.1) původního DK modelu, kde populaci rozdělil do tří skupin: *spreaders*, *ignorants* a *stiflers*. Charakteristiku těchto jednotlivých skupin lze popsat takto:

- Do skupiny nazvané **spreaders** náležejí jedinci, kteří znají a šíří určitou fámu.
- Do druhé skupiny nazvané **ignorants** náležejí jedinci, kteří fámou neznají.
- Do třetí skupiny nazvané **stiflers** náležejí jedinci, kteří sice fámou znají, ale dále ji nešíří (viz [24–26]).

Počty jedinců v jednotlivých skupinách lze vyjádřit pomocí tří proměnných S , I a R takto:

- proměnná S označuje počet jedinců náležejících do skupiny spreaders,
- proměnná I označuje počet jedinců náležejících do skupiny ignorants,
- proměnná R označuje počet náležejících do skupiny stiflers (viz [24,27]).

V této verzi modelu dochází ke změně významu jednotlivých proměnných S , I a R , např. proměnná I v modelu Kermacka a Mc-Kermicka (modelu šíření infekčního onemocnění) má jiný význam než proměnná I uvedená v DK modelu (modelu šíření informací). Význam proměnných S , I a R v jednotlivých modelech je uveden v následující tabulce 1.1.

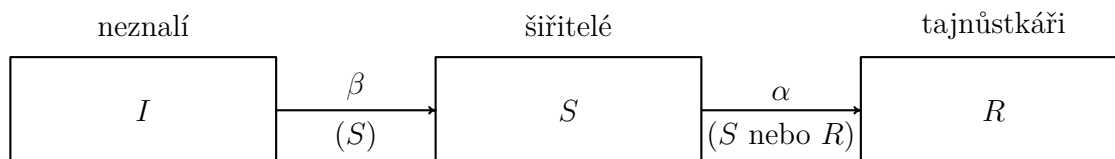
Tabulka 1.1 Význam proměnných S , I a R (Vlastní zpracování dle [27])

Infekce		Informace	
Význam	Proměnná	Význam	Proměnná
Infected	I	Spreaders	S
Susceptible	S	Ignorants	I
Removed	R	Stiflers	R

Doprovodný komentář

Namísto původního pojmenování spreaders, ignorants a stiflers je v práci používáno české pojmenování *šířitelé, neznaří a tajnůstkáři*.

Šíření fámy se realizuje prostřednictvím přímých kontaktů jedinců ze skupiny šířitelé s jedinci ze zbylých skupin populace a je zobrazeno schématem na obrázku 1.3. Obdélníky představují jednotlivé skupiny populace, šipky mezi nimi představují přechod jedince z jedné skupiny do druhé, ve směru šipky. Nad hranou je uvedena pravděpodobnost přechodu mezi skupinami, pod hranou v závorce je uveden jedinec, s nímž přichází jedinec v obdélníku do kontaktu.



Obrázek 1.3 Schéma (Vlastní zpracování dle [24])

Výsledný dynamický model šíření fámy dle Morena [24] lze vyjádřit takto:

$$\begin{aligned}
 \frac{dI(t)}{dt} &= -\beta I(t), \\
 \frac{dS(t)}{dt} &= \beta I(t)S(t) - \alpha S(t)(S(t) + R(t)), \\
 \frac{dR(t)}{dt} &= \alpha S(t)(S(t) + R(t)),
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

kde $\frac{dS}{dt}$, $\frac{dI}{dt}$ a $\frac{dR}{dt}$ jsou derivace proměnných S , I a R dle času t a vzhledem k tomu, že proměnné S , I a R představují počet jedinců v jednotlivých skupinách populace, je požadována nezápornost těchto proměnných $R \geq 0$, $S \geq 0$, $I \geq 0$.

Model (1.1) je soustava nelineárních diferenciálních rovnic 1. řádu. Při znalosti koeficientů α , β a počátečních podmínek $S(0)$, $I(0)$, $R(0)$ lze nalézt numerické řešení tohoto modelu, tedy jeho dynamické chování (více o řešení modelu lze nalézt v [24]).

Praktický komentář

Z důvodu zjednodušení dalších matematických zápisů je proměnná t vynechána, např. místo $S(t)$ je použit prostý zápis S , místo $\frac{dS(t)}{dt}$ je použit zápis DS , analogicky je místo zápisu $\frac{d^2S(t)}{dt^2}$ použit zápis DDS .

Doprovodný komentář

Řešení modelu (1.1) udává za daných počátečních podmínek závislost počtu šířitelů, neznalých a tajnůstkářů na čase.

Dynamické chování modelu (1.1) je závislé na vzájemné interakci

proměnné S s proměnnými R a I . Tyto interakce jsou dány koeficienty α a β modelu (1.1). Koeficient α vyjadřuje pravděpodobnost ochoty jedinců v populaci šířit určitou fámu, koeficient β naproti tomu vyjadřuje pravděpodobnost ochoty jedinců v populaci přijmout tuto fámu.

Z obrázku 1.3 je patrné, že pokud neznalý přijde do kontaktu s šířitelem, stává se šířitelem. Když se šířitel dostane do kontaktu s jiným šířitelem nebo tajnůstkářem, stává se tajnůstkářem (viz [20]).

Rozšířený model šíření fám

V předcházejícím základním modelu (1.1) je celá populace rozdělena do tří skupin. Tomuto rozdělení je v řadě prací (např. [27], [28]) vytýkáno, že pro potřeby popisu šíření fám není zcela přesné; a to z toho důvodu, že šíření fámy, respektive informace je odlišné od šíření infekčního onemocnění.

Tuto odlišnost lze ukázat na těchto příkladech.

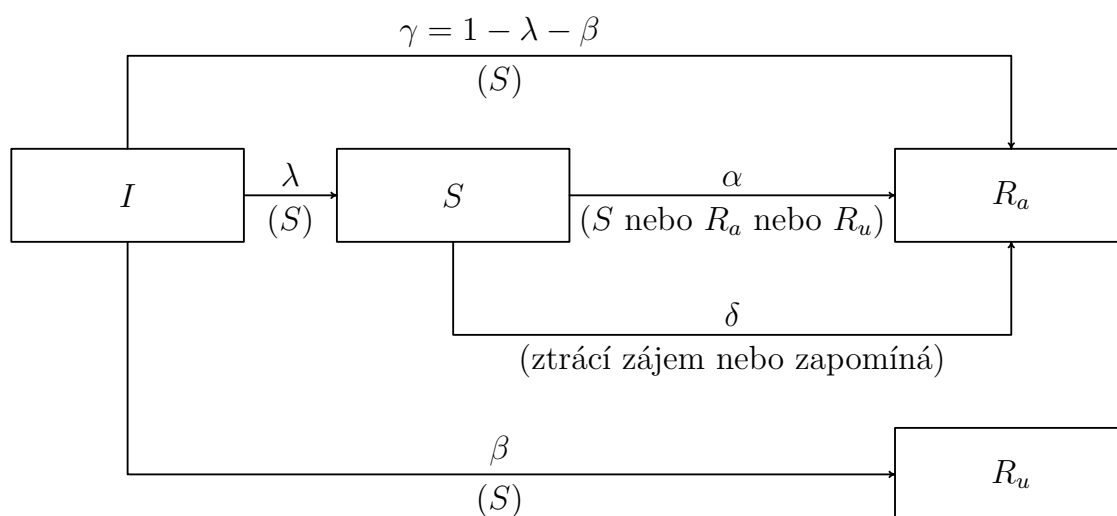
- Když jedinec přijde nevědomky do kontaktu s infekčním jedincem, nemá možnost kontrolovat, zda se nakazí či ne.
- Když jedinec slyší fámu, má možnost (svobodnou vůli) se rozhodnout, zda ji přijme či ne.

Proto se jeví realističtější rozdělit populaci na čtyři skupiny. Z původních tří skupin jedině tajnůstkáři mají možnost se rozhodnout, zda fámu přijmou či nepřijmou. Pokud je tato možnost připuštěna, lze tajnůstkáře rozdělit do dvou skupin *tajnůstkáři1* a *tajnůstkáři2* (viz [27, 28]).

- Skupina nazvaná **tajnůstkáři1** označuje jedince, kteří přijmou fámu, ale nemají zájem ji dále šířit.
- Skupina nazvaná **tajnůstkáři2** označuje jedince, kteří vůbec nemají ochotu přijmout fámu.

Proměnná R_a označuje počet jedinců ve skupině tajnůstkáři1, proměnná R_u označuje počet jedinců ve skupině tajnůstkáři2.

Šíření fámy se realizuje prostřednictvím přímých kontaktů jedinců ze skupiny šířitelé s jedinci ze zbylých skupin populace a je zobrazeno schématem na obrázku 1.4. Obdélníky představují jednotlivé skupiny populace, šipky mezi nimi představují přechod jedince z jedné skupiny do druhé, ve směru šipky. Nad hranou je uvedena pravděpodobnost přechodu mezi skupinami, pod hranou v závorce je uveden jedinec, s nímž přichází jedinec v obdélníku do kontaktu.



Obrázek 1.4 Schéma (Vlastní zpracování dle [27])

Tyto interakce mezi skupinami S , I , R_a a R_u lze vyjádřit rovnicemi pomocí SIRaRu modelu (1.2).

$$\begin{aligned}
 DI &= -\beta IS, \\
 DS &= \lambda IS - \alpha S (S + R_a + R_u) - \delta S, \\
 DR_a &= \gamma IS + \alpha S (S + R_a + R_u) + \delta S, \\
 DR_u &= \beta IS,
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

kde $R_a \geq 0$, $R_u \geq 0$, $S \geq 0$, $I \geq 0$.

Praktický komentář

V SIRaRu modelu (1.2) je vynechána proměnná t ze stejných důvodů, které jsou uvedeny v poznámce na straně 22.

Význam jednotlivých koeficientů modelu (1.2) lze popsat pomocí obrázku 1.4. Když neznalý potká šířitele, stává se šířitelem s pravděpodobností λ nebo se stává tajnůstkářem1 s pravděpodobností γ nebo se stává tajnůstkářem2 s pravděpodobností β . Vzhledem k tomu, že neznalí nemohou nevědět o fámě, jakmile ji uslyší, platí $\lambda + \beta + \gamma = 1$. Když šířitel přijde do kontaktu s jiným šířitelem, tajnůstkářem1 nebo tajnůstkářem2, změní se šířitel na tajnůstkářel s pravděpodobností α . Mezitím mohou šířitelé spontánně, z důvodu zapomínání, přestat šířit pověst a změní se na tajnůstkářel s pravděpodobností δ . Pro proměnné S , I , R_a a R_u platí vztah

$$S + I + R_a + R_u = \text{počtu všech jedinců v populaci.} \quad (1.3)$$

1.1.3 Obtíže modelování fám

Numerické řešení modelů (1.1) a (1.2) vyžaduje znalost koeficientů α , β a γ , δ , λ .

V případě epidemiologických modelů není s jejich určením problém, protože je dostatek vstupních informací; vstupní informace jsou relativně snadno zjistitelné a měřitelné.

Doprovodný komentář

Koeficienty α a β lze například určit na základě znalosti počtu nakažených, přeléčených a nenakažených v určité populaci, resp. lze tyto neznáme koeficienty alespoň odhadnout na základě počtu nakažených, přeléčených a nenakažených v reprezentativním výběru z této populace.

V případě modelování fám je situace složitější, protože je v těchto úlohách nedostatek vstupních informací. Tento nedostatek je způsoben dvěma hlavními příčinami:

- vstupní informace jsou jen velmi obtížně zjistitelné,
- vstupní informace jsou zkresleny.

Doprovodný komentář

Při modelování fám neexistuje spolehlivý zdroj vstupních informací. Výzkumníci jsou v těchto úlohách odkázáni na dotazníková šetření. Hlavní problém při této metodě spočívá v tom, že málokdo je ochoten přiznat, že šíří fámy, například pomluvy. Proto většinou výsledky nebývají k dispozici nebo bývají značně zkresleny.

Neexistence dostatku vstupních informací není problémem jen modelů inspirovaných epidemiologií, ale obecně všech modelů, které jsou inspirovány obory lidské činnosti postavených na kvantitativních datech (viz první odstavec článku 1.1.2).

Užitečným nástrojem kompenzace nedostatku vstupních informací je přístup založený na tzv. *trendové modelování*.

1.1.4 Návrh trendového modelování šíření fám

Trendové modelování je ve svém principu velmi jednoduchý přístup práce se soustavami lineárních a nelineárních diferenciálních rovnic, při němž není potřebné znát přesné číselné hodnoty koeficientů a proměnných modelu (soustavy rovnic), ale stačí pouze znát

- znaménka koeficientů ($-$, 0 , $+$),
- trendy proměnných (klesající, konstantní, rostoucí).

Tímto přístupem sice přijdeme o možnost zjistit konkrétní číselné řešení, ale zjistíme alespoň trendy jednotlivých proměnných, tedy dynamiku chování modelu.

Doprovodný komentář

Například znalost změny trendu ceny (růst, stagnace, pokles) určité komodity je pro investory dostatečná informace pro jejich adekvátní rozhodnutí.

Výhodou tohoto přístupu je

- snadná formulace modelu,
- snadná řešitelnost,
- možnost řešit modely i bez znalosti konkrétních dat,
- snadná možnost přidání dalších proměnných do modelu.

Podrobně je tento přístup popsán v následujícím článku 1.2.

1.2 Současný stav trendového modelování

Při řešení řady problémů z různých oblastí lidské činnosti, např. ekonomie, sociologie, marketingu, managementu, jsou používány *objektivní* a *subjektivní metody*. **Objektivní** metody jsou metody řešení problému založené na kvantitativních metodách, jako jsou metody statistické analýzy, metody operační analýzy apod. Klíčovým požadavkem všech těchto metod je potřeba dostatku vstupních informací (viz [29]). **Subjektivní** metody jsou metody řešení problému založené na zkušenostech, znalostech.

S rozvojem výpočetní techniky a s tím spojené umělé inteligence existuje snaha sloučit objektivní a subjektivní metody tak, aby byly využity zjevné výhody objektivní přesnosti se subjektivními znalostmi a zkušenostmi (viz [30,31]). Nicméně, znalosti a zkušenosti jsou velmi subjektivní a jen velmi obtížně měřitelné, a tudíž proces jejich získání není zcela jednoduchý. Přesto proces získávání znalostí je zapotřebí k určení relevantních vstupních informací. Takovéto procesy jsou používány širokou škálou technik, např. automatickými indukčními systémy založenými na pravidlech (viz [32]).

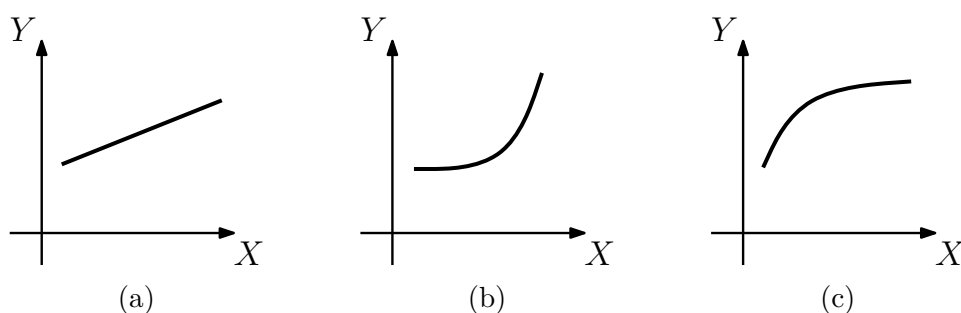
Znalosti lze rozdělit na *hluboké* a *povrchní*. Za **hluboké** znalosti se považují obecně platné zákony. Formulace těchto zákonů je založena na rovnicích. Příkladem takové hluboké znalosti je gravitační zákon. Pro tento zákon neexistují žádné výjimky. Právě neexistence výjimek je typickým rysem hlubokých znalostí. Disciplíny, jako jsou management, ekonomie, sociologie a marketing, jsou jen velmi zřídka založeny na hlubokých znalostech, a daleko častěji jsou založeny na znalostech povrchních.

Povrchní znalosti jsou obvykle výsledkem statistického šetření a často obsahují řadu výjimek (viz [33–35]). Mnoho povrchních znalostí je k dispozici ve formě slovního popisu vzájemného vztahu, např. klesající, konstantní, zvyšující se, sledovaných ukazatelů, respektive proměnných (viz [36, 37]). Tento slovní popis se nazývá **prohlášení**. Příklady takových prohlášení jsou:

(H_1) Jestliže se zvyšuje HDP, zvyšují se investice do vědy a výzkumu.

(H_2) Jestliže rostou investice ze zahraničí, pak klesá místní nezaměstnanost.

Prohlášení mohou být vyjádřeny i graficky. Například prohlášení H_1 lze znázornit obrázkem 1.5(a) nebo (b) nebo (c), kde proměnná X označuje HDP a proměnná Y označuje investice do vědy a výzkumu.



Obrázek 1.5 Grafická vyjádření prohlášení H_1 (Vlastní zpracování dle [38])

Doprovodný komentář

Vztah na obrázku 1.5(a) ukazuje, že:

- Proměnné X a Y nabývají kladných hodnot.
- Trend je rostoucí, a tedy DY je kladná.
- Rychlost růstu je konstantní, a tedy DDY je nulová.

Jak je z výše uvedeného popisu patrné, tento vztah představuje přímou úměrnost.

Vztah na obrázku 1.5(b) ukazuje, že:

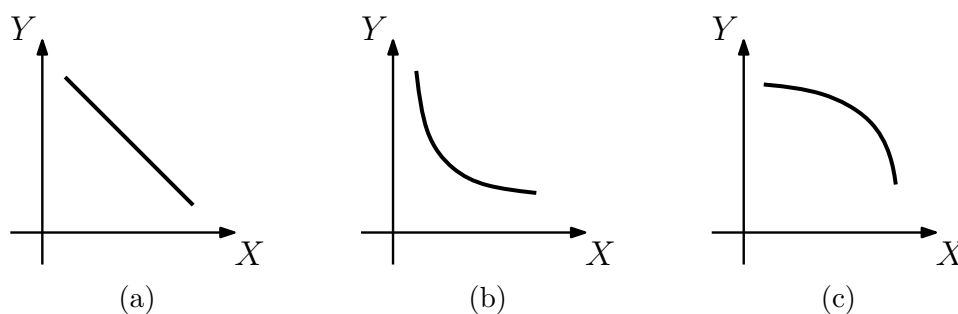
- Proměnné X a Y nabývají kladných hodnot.
- Trend je rostoucí, a tedy DY je kladná.
- Graf je konvexní, a tedy DDY je kladná (rychlost růstu se zvyšuje).

Doprovodný komentář

Vztah na obrázku 1.5(c) ukazuje, že:

- Proměnné X a Y nabývají kladných hodnot.
- Trend je rostoucí, a tedy DY je kladná.
- Graf je konkávní, a tedy DDY je záporná (rychlost růstu se snižuje).

Prohlášení H_2 lze znázornit obrázkem 1.6(a) nebo (b) nebo (c). Proměnná X označuje investice, proměnná Y označuje nezaměstnanost.



Obrázek 1.6 Grafická vyjádření prohlášení H_2 (Vlastní zpracování dle [38])

Doprovodný komentář

Vztah na obrázku 1.6(a) ukazuje, že:

- Proměnné X a Y nabývají kladných hodnot.
- Trend je klesající, a tedy DY je záporná.
- Rychlost poklesu je konstantní, a tedy DDY je nulová.

Jak je z výše uvedeného popisu patrné, tento vztah představuje dobře známou nepřímou úměrnost.

Vztah na obrázku 1.6(b) ukazuje, že:

- Proměnné X a Y nabývají kladných hodnot.
- Trend je klesající, a tedy DY je záporná.
- Graf je konvexní, a tedy DDY je kladná (rychlost poklesu se snižuje).

Doprovodný komentář

Vztah na obrázku 1.6(c) ukazuje, že:

- Proměnné X a Y nabývají kladných hodnot.
- Trend je klesající, a tedy DY je záporná.
- Graf je konkávní, a tedy DDY je záporná (rychlost poklesu se zvyšuje).

Z výše uvedených doprovodných komentářů je zřejmé, že práce s prohlášeními bude spojena s určováním první a druhé derivace sledovaných proměnných. Podrobněji je problému trendového modelování a prohlášením věnována následujícím článku.

1.2.1 Trendový model

Trendový model je popis zkoumaného systému, který je založen na čtyřech kvalitativních hodnotách: kladná, nulová, záporná a jakákoliv z předešlých. V (1.4) jsou těmto hodnotám přiřazeny příslušné symboly a odpovídající trendy proměnných (viz [31, 40]).

Hodnota:	Kladná	Nulová	Záporná	Jakákoliv (z předešlých)
Symbol:	(+)	(0)	(−)	(★)
Trend:	Rostoucí	Konstantní	Klesající	Jakýkoliv (z předešlých)

(1.4)

Doprovodný komentář

Trendový model lze tedy chápat jako zjednodušený popis zkoumaného společensko-ekonomicko-technického systému. Systém je organizační jednotka, v níž jsou organicky spjati lidé a technická zařízení, a v nichž existují ekonomické, sociální, technické, materiálové a psychologické vazby; tyto vazby mohou vycházet buď z hlubokých nebo povrchních znalostí (viz [41–43]).

Při vytváření modelů v obecném slova smyslu se pracuje s proměnnými x_i

a konstantami c_j , kde $i = 1, 2, \dots, n$ a $j = 1, 2, \dots, p$. Pokud bude proměnná x nabývat některé z kvalitativních hodnot (1.4), bude se tato proměnná nazývat **kvalitativní** proměnná a značit X . Pokud bude konstanta c nabývat některé z kvalitativních hodnot (1.4), bude se tato konstanta nazývat **kvalitativní** konstanta a značit C .

Hodnotu kvalitativní proměnné X lze určit pomocí znaménkové funkce proměnné x a jejích derivací dx/dt , d^2x/dt^2 (viz [38])

$$X = \begin{cases} (+), & \text{když } x > 0, \\ (0), & \text{když } x = 0, \\ (-), & \text{když } x < 0. \end{cases} \quad (1.5)$$

Analogicky lze určit hodnoty DX a DDX proměnné X .

Hodnotu kvalitativní konstanty C lze určit pomocí znaménkové funkce konstanty c

$$C = \begin{cases} (+), & \text{když } c > 0 \\ (0), & \text{když } c = 0 \\ (-), & \text{když } c < 0. \end{cases} \quad (1.6)$$

Součin kladné kvalitativní konstanty C a kvalitativní proměnné X se definuje vztahem

$$CX = (+)X = X. \quad (1.7)$$

Doprovodný komentář

Bližší popis aritmetických operací mezi kvalitativními proměnnými, resp. mezi kvalitativní proměnnou a kvalitativní konstantou, lze nalézt v [44], [45].

V následujícím textu bude obecný trendový model označen písmenem Q , jeho řešení bude označeno písmenem M . Postup nalezení řešení M modelu Q se nazývá trendová analýza.

K vytvoření trendového modelu se aplikují hluboké znalosti, povrchní znalosti, případně obojí. Trendový model s využitím hlubokých znalostí se značí

Q_R , trendový model s využitím povrchních znalostí se značí Q_H a trendový model s využitím obou typů znalostí, tj. smíšený model, se značí Q_S .

V rámci všech výše zmíněných trendových modelů se pracuje s kvalitativními proměnnými a kvalitativními konstantami.

Trendový model s využitím hlubokých znalostí

Trendový model s využitím hlubokých znalostí je dán soustavou rovnic tvaru (1.4). Tento model je zkráceně označen

$$Q_R(\mathbf{X}) \quad (1.8)$$

kde $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_n)$ je vektor sledovaných kvalitativních proměnných.

Trendový model (1.8) je zadán, když všech n kvalitativních proměnných

$$X_1, X_2, \dots, X_n \quad (1.9)$$

je popsáno pomocí uspořádaných trojic, stručně *tripletů* (viz [29])

$$(X_i, DX_i, DDX_i). \quad (1.10)$$

Doprovodný komentář

Lze uvažovat i třetí a vyšší derivace; avšak v praktických problémech jsou jen obtížně stanovitelné, a tudíž nejsou v dalším brány v úvahu.

Praktický komentář

V situacích, kdy bude výklad vyžadovat použití pouze dvou proměnných, bude v textu místo obecného zápisu X_i , kde $i = 1, 2$, použito zápisu X, Y . V situacích se třemi proměnnými, bude v textu místo obecného zápisu X_i , kde $i = 1, 2, 3$, použito zápisu X, Y a Z .

Příkladem tripletu (X, DX, DDX) může být $((+), (+), (+))$. Tento triplet lze interpretovat tak, že proměnná je kladná ($X = (+)$), v čase roste ($DX = (+)$) a růst zrychluje ($DDX = (+)$).

Doprovodný komentář

V tabulkách ve zbývajících částech textu bude místo zápisu (X, DX, DDX) používán zjednodušený zápis $X \quad DX \quad DDX$; například místo zápisu $((+), (+), (+))$ bude použito stručného zápisu $(+, +, +)$, resp. $+++$.

Řešením modelu Q_R (1.8) je množina M_R , která obsahuje tripletu, které splňují všechny rovnice tohoto modelu.

Každý prvek z M_R se zapisuje ve tvaru

$$[(X_1, DX_1, DDX_1), (X_2, DX_2, DDX_2), \dots, (X_n, DX_n, DDX_n)]. \quad (1.11)$$

Tedy každý prvek z M_R představuje jedno konkrétní řešení modelu Q_R . Toto řešení se nazývá **scénář**.

Scénáře lze chápat jako stavy, v kterých se může nacházet zkoumaný model, resp. scénáře lze chápat jako trendy sledovaných proměnných.

Doprovodný komentář

Vzhledem k tomu, že všechny prvky tripletu (1.10) lze nahradit konečným počtem kvalitativních hodnot (1.4), obsahuje množina M (1.11) jen konečný počet scénářů. Tedy při řešení trendového modelu (1.8) vždy dostáváme konečnou množinu řešení.

Trendová analýza je založena na operacích *kvalitativní součet* a *součin*. **Kvalitativní součet**, se značí symbolem $+$ a je definován v tabulce 1.2, **kvalitativní součin**, se značí symbolem \cdot a je definován v tabulce 1.3. Podrobněji jsou tyto operace popsány v [44].

Obdobným způsobem lze formulovat operace *kvalitativní rozdíl*, resp. *kvalitativní podíl*. Vzhledem k tomu, že tyto operace lze nahradit operacemi kvalitativní součet (tabulka 1.2), resp. kvalitativní součin (tabulka 1.3), a vhodnou úpravou rovnic modelu (1.8), nebudou v rámci této publikace tyto operace zvlášť definovány. Podrobněji je tento problém popsán v [44].

Tabulka 1.2 Kvalitativní součet

+	(+)	(0)	(-)
(+)	(+)	(+)	(★)
(0)	(+)	(0)	(-)
(-)	(★)	(-)	(-)

Tabulka 1.3 Kvalitativní součin

·	(+)	(0)	(-)
(+)	(+)	(0)	(-)
(0)	(0)	(0)	(0)
(-)	(-)	(0)	(+)

Kupříkladu model založený na znalosti konkrétních hodnot proměnných a konstant je dán rovnicí

$$2x + 3y - z = 0. \quad (1.12)$$

Trendový model lze pomocí kvalitativních proměnných (1.5) a konstant (1.6) vyjádřit jako

$$(+)X + (+)Y - (+)Z = 0. \quad (1.13)$$

Operaci rozdíl lze vyjádřit pomocí operace + a převedením $(+)Z$ na pravou stranu rovnice:

$$(+)X + (+)Y = (+)Z, \quad (1.14)$$

kteřou lze zjednodušeně zapsat vynecháním symbolu (+) ve tvaru

$$X + Y = Z. \quad (1.15)$$

Nejjednodušším způsobem řešení trendového modelu (1.15) je vytvoření všech možných tripletů pro jednotlivé proměnné X , Y a Z a následná kontrola, které z těchto trojic splňují rovnici (1.15), tedy které z těchto trojic jsou scénáři. Vzhledem k tomu, že pracujeme jen s kvalitativními hodnotami (1.4), je určení všech možných trojic jednoduchou kombinatorickou úlohou.

Pokud jsou zanedbány první a druhé derivace (viz (1.10)) lze jednu z možných trojic zapsat formálně ve tvaru

$$\begin{array}{ccc} (X, DX, DDX) & (Y, DY, DDY) & (Z, DZ, DDZ) \\ (+, ★, ★) & (+, ★, ★) & (-, ★, ★) \end{array} \quad (1.16)$$

Tato trojice (1.16) není scénářem modelu (1.15), protože dle tabulky 1.2 platí

$$(+)+(+)=(+), \quad (1.17)$$

nikoliv (−).

Příklad 1.1. V tomto ilustrativním příkladu je uveden trendový model (a) *tlumeného kmitání*, (b) *buzeného kmitání* a (c) *harmonického pohybu*.

(a) Tlumené kmitání je mechanické kmitání, které po určité době ustává. Toto chování lze vysvětlit tak, že v reálném prostředí existují různé odporové síly, které způsobují, že systém postupně ztrácí energii a velikosti jeho kmitů se časem zmenšují. Analogické chování lze pozorovat i u řady makroekonomických a mikroekonomických ukazatelů; tedy jejich chování lze modelovat pomocí tlumeného kmitání. Tlumené kmitání lze popsat pomocí diferenciální rovnice (viz [38])

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\zeta\omega_0\frac{dx}{dt} + \omega_0^2x = 0, \quad (1.18)$$

kde $\zeta > 0$ a představuje parametr tlumení, $\omega_0 > 0$ a představuje úhlovou frekvenci.

Rovnici (1.18) lze pomocí (1.5)–(1.6) přepsat na trendový model (1.8) takto

$$DDX + DX + X = 0. \quad (1.19)$$

Řešením (1.11) trendového modelu (1.19) je množina

$$M_R = \{[(0, 0, 0)]_1, [(+, -, 0)]_2, [(-, +, 0)]_3, [(+, 0, -)]_4, \dots, [(-, -, +)]_{13}\}. \quad (1.20)$$

V řadě situací je výhodnější psát scénáře ve formě tabulky (viz tabulka 1.4).

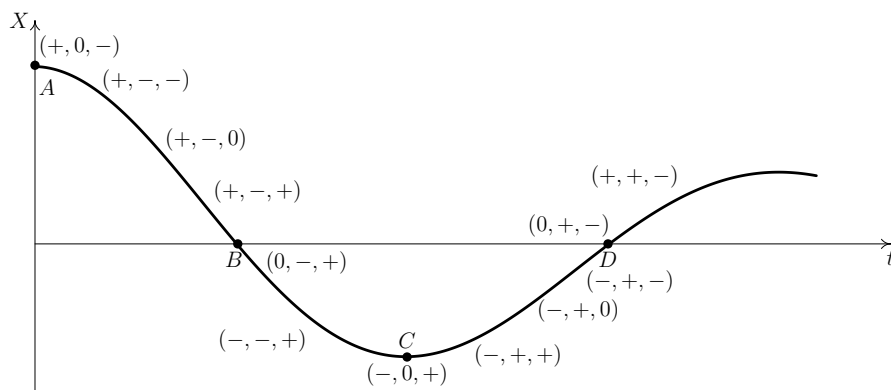
Z tabulky 1.4 je vidět, že řešení trendového modelu (1.19) má 13 scénářů. Existuje tedy 13 stavů, ve kterých se může model (1.19) nacházet.

První scénář z tabulky 1.4, zapsaný jako triplet (0, 0, 0), představuje *ustálený* stav; je to stav, z kterého systém (model) nemůže „uniknout“. Druhý scénář, taktéž zapsaný tripletem (+, −, 0), značí, že hodnota sledované proměnné je kladná, ale dochází k jejímu poklesu, přičemž tento pokles

Tabulka 1.4 Trendové řešení tlumeného kmitání (Vlastní zpracování)

Scénář	X	DX	DDX
1	0	0	0
2	+	-	0
3	-	+	0
4	+	0	-
5	+	-	-
6	-	0	+
7	-	+	+
8	0	+	-
9	+	+	-
10	-	+	-
11	0	-	+
12	+	-	+
13	-	-	+

je ustálený (viz vztah na obrázku 1.6(a)). Podobně lze interpretovat i ostatní scénáře.



Obrázek 1.7 Tlumené kmitání (Vlastní zpracování)

Na obrázku 1.7 jsou scénáře z tabulky 1.4 přiřazeny numerickému řešení modelu (1.18). V úsecích, které jsou ohraničeny body A , B a C , D dochází k tlumení, což je názorně vidět z tripletů (trendové řešení), kdy na druhé pozici je opačný symbol než na pozici první.

Praktický komentář

Numerické řešení modelu (1.18) zmíněné v předchozím odstavci bylo vypočteno při dané počáteční podmínce pomocí tabulkového procesoru užitím diferenciálu. Stejného přístupu bylo použito i pro výpočet numerického řešení modelu buzeného kmitání (1.21) a harmonického pohybu (1.23), které jsou zmíněny dále v textu.

Doprovodný komentář

Více informací lze z tabulky 1.4 získat pomocí tzv. *přechodového grafu*, který bude popsán v kapitole o přechodovém grafu na straně 49.

(b) Jednoduchou úpravou vztahu (1.18) lze získat rovnici *buzeného kmitání*

$$\frac{d^2x}{dt^2} - 2\zeta\omega_0\frac{dx}{dt} + \omega_0^2x = 0. \quad (1.21)$$

Rovnici (1.21) lze pomocí (1.5)–(1.6) přepsat na trendový model (1.8) následovně

$$DDX - DX + X = 0. \quad (1.22)$$

Řešení (1.11) trendového modelu (1.22) je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 1.5 Trendové řešení buzeného kmitání (Vlastní zpracování)

Scénář	X	DX	DDX
1	0	0	0
2	+	+	0
3	–	–	0
4	+	0	–
5	+	+	–
6	–	0	+
7	–	–	+

8	0	+	+
9	+	+	+
10	–	+	+
11	0	–	–
12	+	–	–
13	–	–	–
Scénář	X	DX	DDX

Z tabulky 1.5 je vidět, že řešení trendového modelu (1.22) obsahuje 13 scénářů. Existuje tedy 13 stavů, ve kterých se může model (1.22) nacházet.

První scénář z tabulky 1.5, zapsaný jakotriplet $(0, 0, 0)$, představuje *ustálený* stav; je to stav, z kterého systém (model) vychází a nemůže se do něj nikdy vrátit. Druhý scénář, taktéž zapsaný tripletem $(+, +, 0)$, značí, že hodnota sledované proměnné je kladná a dochází k jejímu růstu, přičemž tento růst je ustálený (viz vztah na obrázku 1.5(a)). Podobně lze interpretovat i ostatní scénáře.

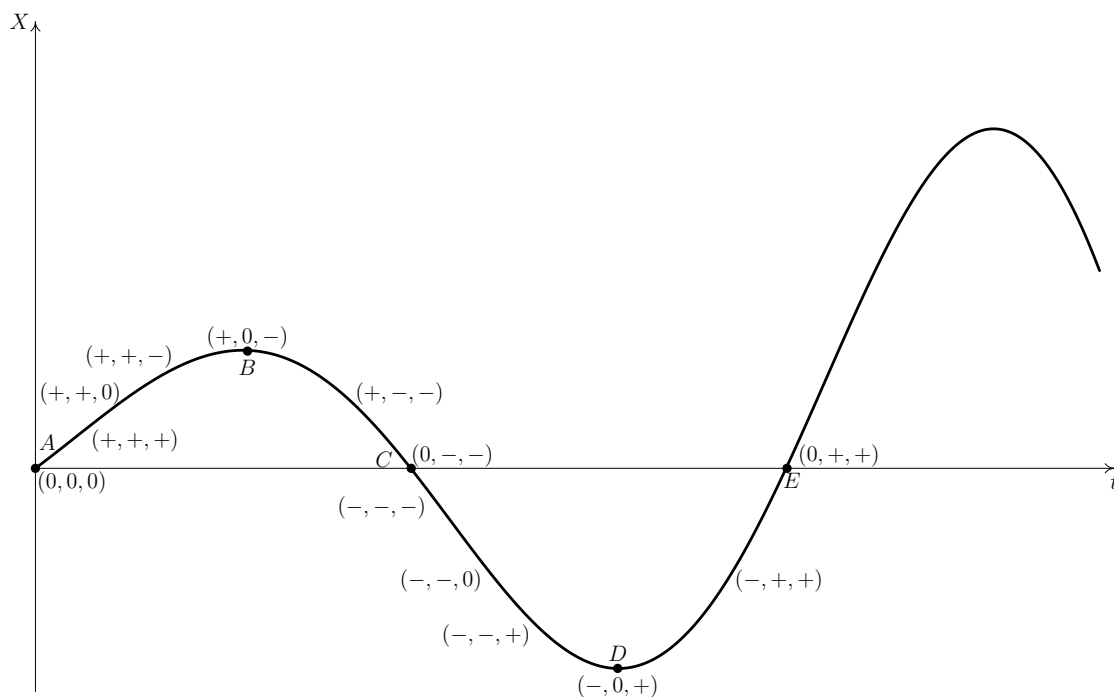
Na obrázku 1.8 jsou scénáře z tabulky 1.5 přiřazeny numerickému řešení modelu (1.21). V úsecích, které jsou ohraničeny body A , B a C , D dochází k buzení, což je názorně vidět z uspořádaných trojic (trendového řešení), kdy na druhé pozici je stejný symbol jako na pozici první.

(c) Kmitavý pohyb, který není ani tlumen, ani buzen, se nazývá *harmonický pohyb*. Následující rovnice harmonického pohybu je odvozena ze vztahu (1.18) tak, že koeficient tlumení $\zeta = 0$.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0. \quad (1.23)$$

Rovnici (1.23) lze pomocí (1.5)–(1.6) přepsat na trendový model (1.8) následovně

$$DDX + X = 0. \quad (1.24)$$



Obrázek 1.8 Buzené kmitání (Vlastní zpracování)

Tabulka 1.6 Trendové řešení harmonického pohybu (Vlastní zpracování)

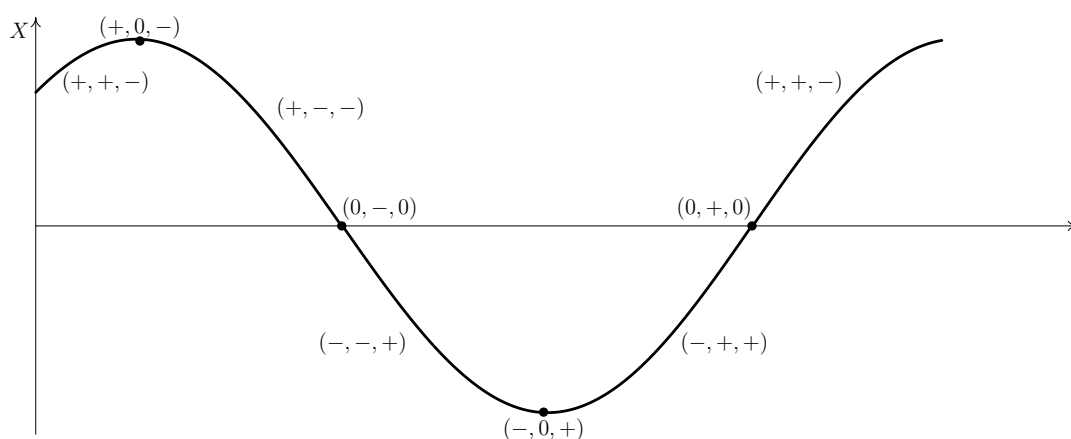
Scénář	X	DX	DDX
1	0	0	0
2	0	+	0
3	0	-	0
4	+	0	-
5	+	+	-
6	+	-	-
7	-	0	+
8	-	+	+
9	-	-	+

Řešení (1.11) trendového modelu (1.24) je uvedeno v následující tabulce.

Z tabulky 1.6 je vidět, že trendový model (1.22) má 9 řešení (scénářů). Existuje však jen 8 stavů, ve kterých se může model (1.24) nacházet, aby se dalo hovořit o harmonickém pohybu. První scénář z tabulky 1.6, zapsaný jako triplet $(0,0,0)$, představuje *ustálený* stav. Pokud se jedná o harmonický pohyb, je to stav, z kterého systém (model) nikdy nevychází a nemůže se do

něj nikdy dostat. Pátý scénář, taktéž zapsaný tripletem $(+, +, -)$, značí, že hodnota sledované proměnné je kladná a dochází k jejímu růstu, přičemž tento růst se zpomaluje (viz vztah na obrázku 1.5(c)). Podobně lze interpretovat i ostatní scénáře.

Na obrázku 1.9 jsou scénáře z tabulky 1.6 přiřazeny numerickému řešení modelu (1.23).



Obrázek 1.9 Harmonický pohyb (Vlastní zpracování)



Trendový model s využitím povrchních znalostí

Jak již bylo naznačeno v úvodu článku 1.2, v řadě reálných situací z oblastí, jako jsou management, marketing, psychologie apod., nebývají k popisu modelu k dispozici exaktní rovnice, ale vychází se v těchto případech z osobních zkušeností, dovedností a znalostí zainteresovaných osob. Pracuje se zde tedy s *povrchními* znalostmi.

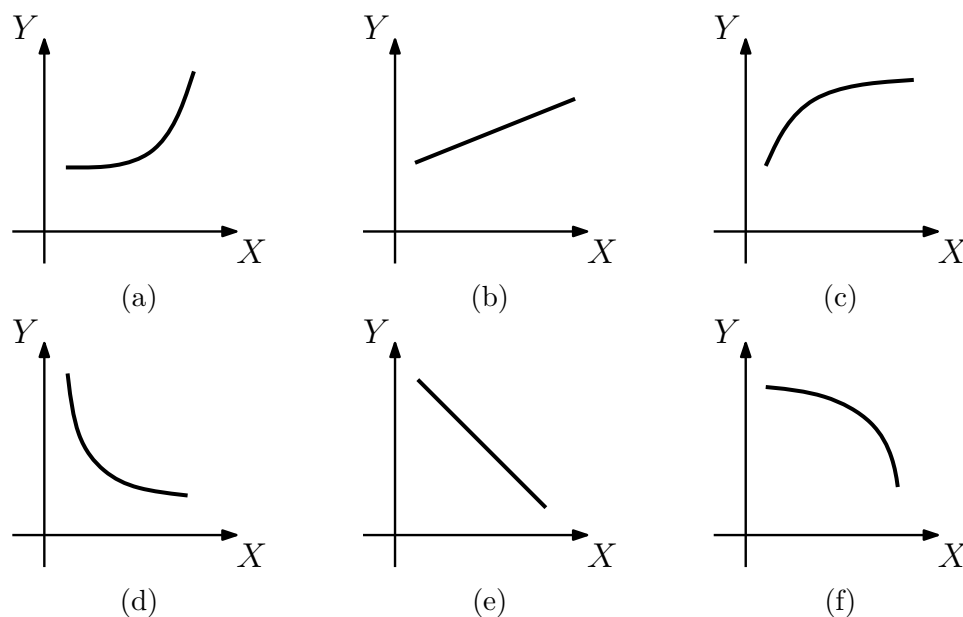
Jedním z možných, a v praxi často používaných, vyjádření povrchních znalostí jsou prohlášení. Prohlášení představuje jednoduchý slovní popis určitých vztahů mezi sledovanými proměnnými, například „čím je menší zabezpečení informačního systému, tím je větší riziko zneužití citlivých dat“ nebo „čím je cena určitého produktu menší, tím je větší poptávané množství po tomto produktu“.

Pomocí zadaných prohlášení H_1, H_2, \dots, H_w může být popsán příslušný trendový model Q_H ;

$$Q_H(H_1, H_2, \dots, H_w), \quad (1.25)$$

kde w představuje počet zadaných prohlášení.

Aby bylo možné s modelem (1.25) pracovat, je potřebné převést zadaná prohlášení H_1, H_2, \dots, H_w do matematického jazyka. S ohledem na použitou terminologii v [46] a zaměření tohoto textu půjde zejména o převod živého jazyka do matematicko-ekonomického jazyka. Nejjednodušším způsobem takového převodu, je použití tzv. *párových vztahů*. **Párový vztah** představuje grafické vyjádření vztahu mezi dvěma sledovanými proměnnými, jak je graficky znázorněno vztahy (a)–(f) na obrázku 1.10.



Obrázek 1.10 Grafické vyjádření heuristik (Vlastní zpracování dle [38])

Jak je z obrázku 1.10 vidět, *párové vztahy* (a)–(f) jsou zadány pro první kvadrant I souřadnicového systému. Obdobně lze párové vztahy definovat i pro zbývající kvadranty tohoto souřadnicového systému.

Praktický komentář

Volba příslušného kvadrantu závisí na konkrétním řešeném problému a zvolených proměnných.

Doprovodný komentář

V modelu šíření fám (1.1) se předpokládá nezápornost proměnných, proto budou použity vztahy z kvadrantu I. Pro zjednodušení zápisu a odkazů na tyto vztahy je zavedeno značení v tabulce 1.7.

Tabulka 1.7 Označení vztahů z obrázku 1.10

Vztah	Značení	Vztah	Značení
(a)	1_I	(d)	4_I
(b)	2_I	(e)	5_I
(c)	3_I	(f)	6_I
(a)–(c)	R_I	(d)–(f)	K_I

Každé prohlášení H_v lze převést na párový vztah

$$P_v(X_i, X_j), \text{ kde } i, j = 1, 2, \dots, n \text{ a } i \neq j, \quad (1.26)$$

kde $v = 1, 2, \dots, w$.

Praktický komentář

Pro vztahy z obrázku 1.10 je obecný zápis párových vztahů

$$P_v(X, Y), v = 1, 2, \dots, 6. \quad (1.27)$$

Každý trendový model Q_H (1.25) lze popsat w párovými vztahy

$$Q_H(P_1, P_2, \dots, P_w). \quad (1.28)$$

Vzhledem k (1.26) lze trendový model (1.28) zapsat ve tvaru

$$Q_H(\mathbf{X}), \text{ kde } \mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (1.29)$$

Řešení trendového modelu Q_H (1.29) je množina M_H takových tripletů pro proměnné X_1, \dots, X_n , které splňují párové vztahy (1.26). Každý prvek z M_H se zapisuje ve tvaru

$$[(X_1, DX_1, DDX_1), (X_2, DX_2, DDX_2), \dots, (X_n, DX_n, DDX_n)]. \quad (1.30)$$

Analogicky jako u trendového modelu založeného na hlubokých znalostech se každý prvek množiny M_H nazývá scénář.

Konkrétní algoritmy pro řešení trendového modelu Q_H a nalezení příslušné množiny řešení M_H jsou podrobněji popsány v [47].

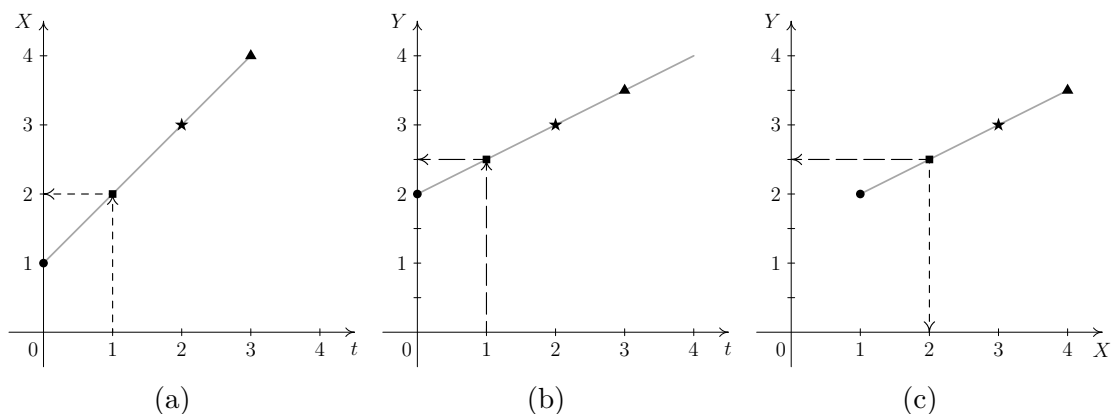
Matematicky lze tento problém zapsat pomocí základních operací s funkcemi, a to pomocí *inverzní funkce* a *skládání funkcí* (více o těchto operacích lze najít v [48]). Vývoj proměnné X v čase t (trend proměnné X) lze vyjádřit ve tvaru funkce $X = f(t)$, vývoj proměnné Y v čase t lze vyjádřit ve tvaru funkce $Y = g(t)$. Pak vzájemné vztahy obou proměnných lze vyjádřit ve tvaru

$$Y = g(f^{-1}(X)), \quad (1.31)$$

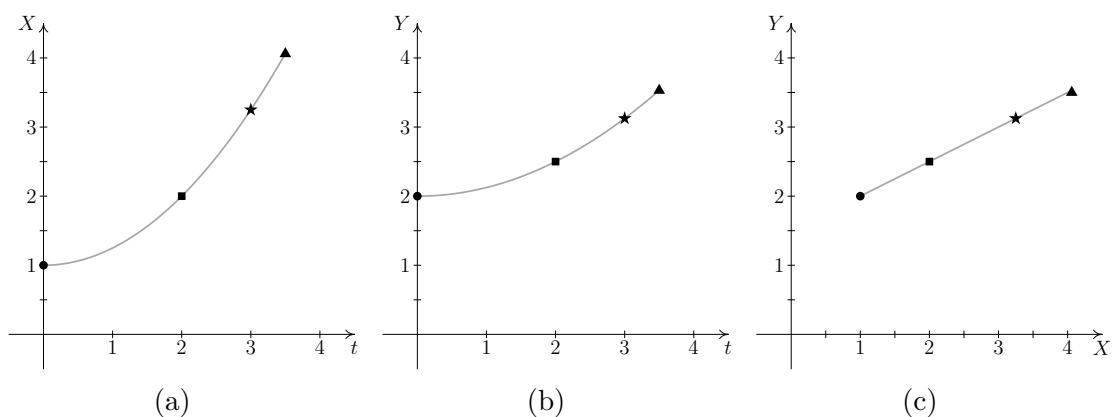
$$X = f(g^{-1}(Y)). \quad (1.32)$$

Kupříkladu párový vztah (1.26) mezi sledovanými proměnnými X, Y je popsán tvarem 2_I (viz tabulka 1.7, obrázky 1.10, 1.11(c), 1.12(c) a 1.13(c)). Aby vzájemný vztah mezi proměnnými X, Y měl tento požadovaný tvar, musí mít tyto proměnné stejné rostoucí trendy (viz obrázky 1.11(a) a 1.11(b), 1.12(a) a 1.12(b), 1.13(a) a 1.13(b)).

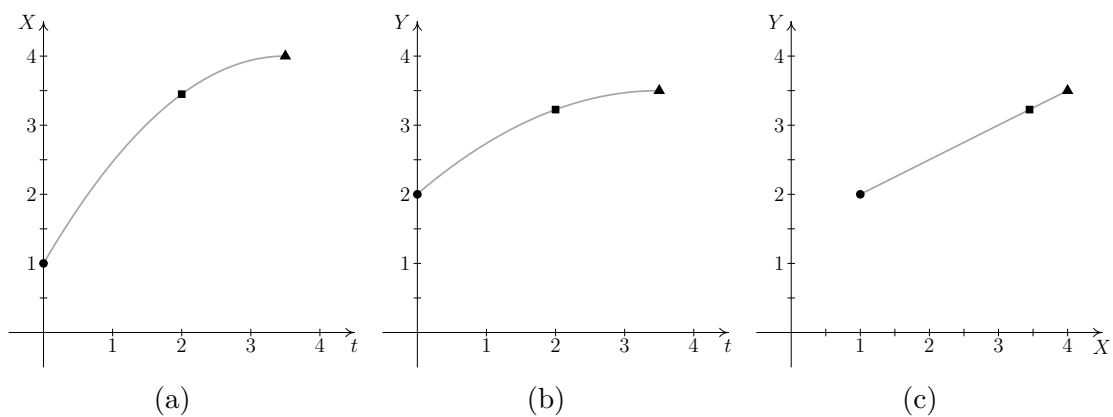
Na obrázku 1.11(a) a 1.11(b) je patrné, že vývoj proměnných (sledovaných ukazatelů) X a Y lze popsat stejným trendem (lineárním trendem). Pro stejné hodnoty proměnné t , např. $t = 1$, nabývají proměnné X a Y konkrétních hodnot, např. $X = 2, Y = 2,5$ (viz přerušované čáry na obrázcích 1.11(a) a 1.11(b)). Tyto hodnoty pak tvoří souřadnice bodů na obrázku 1.11(c). Takto



Obrázek 1.11 Rostoucí trend (Vlastní zpracování)

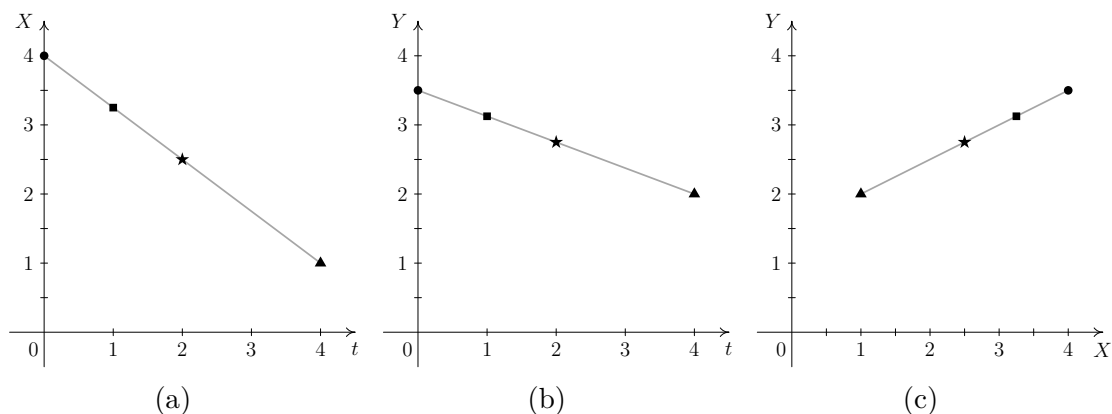


Obrázek 1.12 Rostoucí trend (Vlastní zpracování)

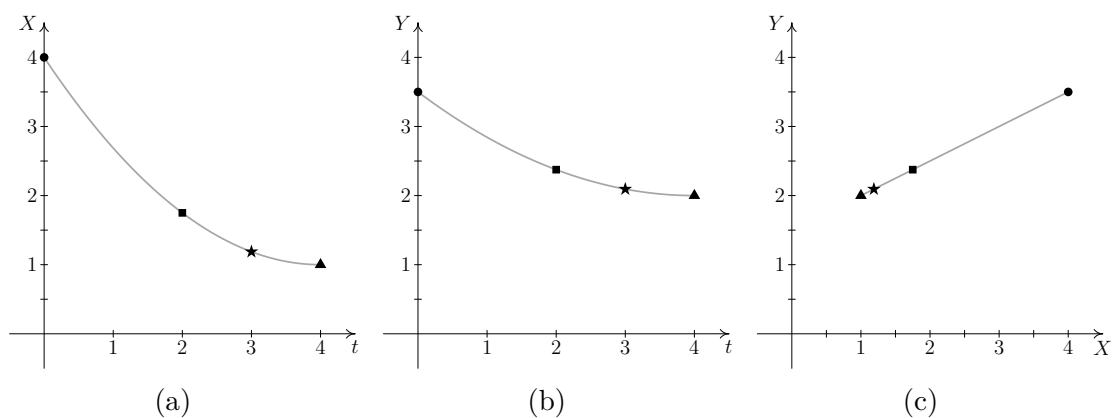


Obrázek 1.13 Rostoucí trend (Vlastní zpracování)

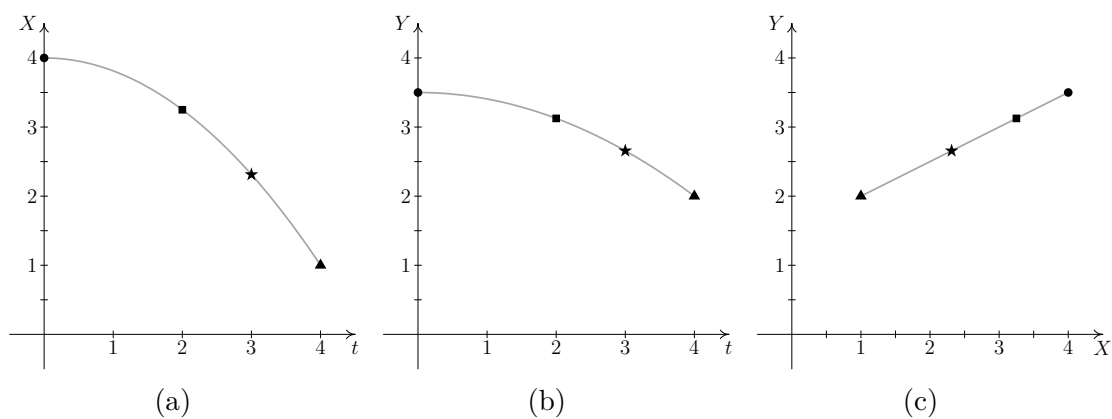
získané body leží na přímce, a lze tedy vyslovit závěr, že mezi proměnnými X a Y existuje lineární závislost, která odpovídá tvaru 2_I (viz obrázek 1.10 a tabulka 1.7).



Obrázek 1.14 Klesající trend (Vlastní zpracování)



Obrázek 1.15 Klesající trend (Vlastní zpracování)



Obrázek 1.16 Klesající trend (Vlastní zpracování)

Obdobný postup a závěr lze vyslovit i pro jiné trendy proměnných X a Y ; tyto trendy však musejí být stejné (viz obrázky 1.12–1.16).

Aby vzájemný vztah mezi proměnnými X , Y měl tvar odpovídající vztahu

5_I na obrázku 1.10, musí mít tyto proměnné stejné klesající trendy. Pro vztah 1_I , 3_I , 4_I a 6_I z obrázku 1.10 mohou mít proměnné X a Y rozdílné rostoucí resp. klesající trendy.

Doprovodný komentář

Konstrukce vzájemného vztahu mezi proměnnými X a Y na základě vývoje těchto proměnných v čase t je obdobou konstrukce atraktoru (viz [49]).

V následujícím příkladu z oblasti mikroekonomie je ukázán jednoduchý trendový model založený na prohlášeních.

Příklad 1.2. Pro firmy je velmi důležitá predikce jejich obchodních úspěchů, resp. neúspěchů. Tyto predikce jsou výsledkem tzv. *bankrotních* modelů, které jsou aktuálním vědeckým problémem (viz [50]).

Následující dvě jednoduchá prohlášení, uvedená v [51], se používají k popisu bankrotního modelu popsaného pomocí těchto prohlášení:

Čím je menší objem zásob, tím je větší pravděpodobnost neúspěchu.

Čím je menší velikost dluhu, tím je menší pravděpodobnost neúspěchu.

(1.33)

Bankrotní model, který je dán prohlášeními (1.33), je trendovým modelem Q_H konstruovaným užitím tří proměnných Z , P , L :

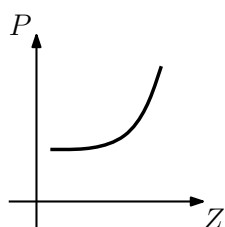
Objem zásob	Z	
Pravděpodobnost neúspěchu	P	(1.34)
Výše dluhu	L	

Následující párové vztahy (viz obrázek 1.10) jsou použity k nahrazení prohlášení (1.33) a pro vytvoření trendového modelu (1.35) založeného na

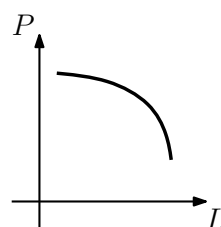
těchto párových vztazích:

$$\begin{array}{rcccl}
 & \text{Vztah} & X & Y & \\
 1 & 1_{\text{I}} & Z & P & \\
 2 & 6_{\text{I}} & L & P &
 \end{array} \tag{1.35}$$

Grafické vyjádření trendového modelu (1.35) pomocí párových vztahů je znázorněno na následujícím obrázku 1.17.



(a) Vztah 1_{I} (viz obrázek 1.10)



(b) Vztah 6_{I} (viz obrázek 1.10)

Obrázek 1.17 Grafické vyjádření párových vztahů (Vlastní zpracování)

Množina řešení M_H trendového modelu Q_H (1.35) obsahuje 187 scénářů, respektive stavů, v nichž se může model nacházet. Prvních dvacet z těchto 187 scénářů je uvedeno v tabulce 1.8.

Tabulka 1.8 Řešení bankrotního modelu (1.35) (Vlastní zpracování)

Scénář	Z	DZ	DDZ	P	DP	DDP	L	DL	DDL
1	+	+	+	+	+	+	+	-	-
2	+	+	+	+	+	+	0	-	-
3	+	+	+	+	+	+	-	-	-
4	+	+	-	+	+	0	+	-	-
5	+	+	-	+	+	0	0	-	-
6	+	+	-	+	+	0	-	-	-
7	+	+	-	+	+	+	+	-	-
8	+	+	-	+	+	+	0	-	-
9	+	+	-	+	+	+	-	-	-
10	+	+	-	+	+	-	+	-	+
11	0	+	+	+	+	+	+	-	-
12	-	+	-	0	+	0	+	-	-
13	-	+	-	0	+	+	+	-	-
14	+	+	-	+	+	-	0	-	-
15	+	+	-	+	+	-	0	-	0
16	+	+	-	+	+	-	-	-	+

17	+	+	-	+	+	-	-	-	-
18	+	+	-	+	+	-	-	-	0
19	-	-	-	-	-	-	+	+	+
20	-	-	-	-	-	-	+	+	-
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Scénář	<i>Z</i>	<i>DZ</i>	<i>DDZ</i>	<i>P</i>	<i>DP</i>	<i>DDP</i>	<i>L</i>	<i>DL</i>	<i>DDL</i>

Z tabulky 1.8 je patrné, že u části scénářů se na prvních místech tripletů vyskytují i symboly 0 a $-$, např. scénáře č. 11, 12 a 21. Vzhledem k charakteru sledovaných veličin, např. pravděpodobnost nemůže být záporné číslo, se lze omezit pouze na kladné hodnoty na prvních místech tripletů.

Z tohoto důvodu se předpokládá, že sledované proměnné Z , P a L mohou nabývat jen kladných hodnot. Pak výsledná množina řešení M_{H+} je podmnožinou množiny všech řešení M_H a obsahuje 17 scénářů (viz tabulka 1.9).

Tabulka 1.9 Kladná řešení bankrotního modelu (1.35) (Vlastní zpracování)

Scénář	<i>Z</i>	<i>DZ</i>	<i>DDZ</i>	<i>P</i>	<i>DP</i>	<i>DDP</i>	<i>L</i>	<i>DL</i>	<i>DDL</i>
1	+	+	+	+	+	+	+	-	-
2	+	+	-	+	+	0	+	-	-
3	+	+	-	+	+	+	+	-	-
4	+	+	-	+	+	-	+	-	+
5	+	+	-	+	+	-	+	-	-
6	+	+	-	+	+	-	+	-	0
7	+	+	0	+	+	+	+	-	-
8	+	0	+	+	0	+	+	0	-
9	+	0	-	+	0	-	+	0	+
10	+	0	0	+	0	0	+	0	0
11	+	-	+	+	-	+	+	+	-
12	+	-	-	+	-	0	+	+	-
13	+	-	-	+	-	+	+	+	-
14	+	-	-	+	-	-	+	+	+
15	+	-	-	+	-	-	+	+	-
16	+	-	-	+	-	-	+	+	0
17	+	-	0	+	-	+	+	+	-

S ohledem na příklad 1.1 představuje scénář $((+, 0, 0), (+, 0, 0), (+, 0, 0))$, tj. scénář č. 10 z tabulky 1.9, ustálený stav. ▲

Smíšený trendový model

V reálných situacích existuje řada modelů, které jsou založeny na spojení hlubokých znalostí, vyjádřených obvykle pomocí rovnic, s množinou povrchních znalostí, obvykle vyjádřených pomocí prohlášení. Příkladem tohoto modelu je spojení dobře známého Black-Scholesova modelu zastoupeného soustavou diferenciálních rovnic s prohlášeními založenými na obtížně vyjádřitelné náladě na akciovém trhu a vztahu investorů k riziku. Podrobněji je o tomto modelu pojednáno v [39].

Smíšený trendový model je trendový model, který je založen jak na hlubokých znalostech, tak i na znalostech povrchních. Je tedy je popsán jak pomocí rovnic, tak i pomocí prohlášení. Pro smíšený trendový model Q_S platí, že se jedná o sloučení trendového modelu Q_R s trendovým modelem Q_H (viz [38]). V dalším se takové sloučení značí symbolem \cap , tj.

$$Q_S(\mathbf{X}) = Q_R(\mathbf{X}) \cap Q_H(\mathbf{X}), \text{ kde } \mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (1.36)$$

Příklady smíšených modelů jsou uvedeny v kapitole 3.

Řešením smíšeného modelu Q_S je množina M_S scénářů, která je průnikem množin řešení M_R a M_H trendových modelů Q_R a Q_H (viz [38]), tj.

$$M_S = M_R \cap M_H. \quad (1.37)$$

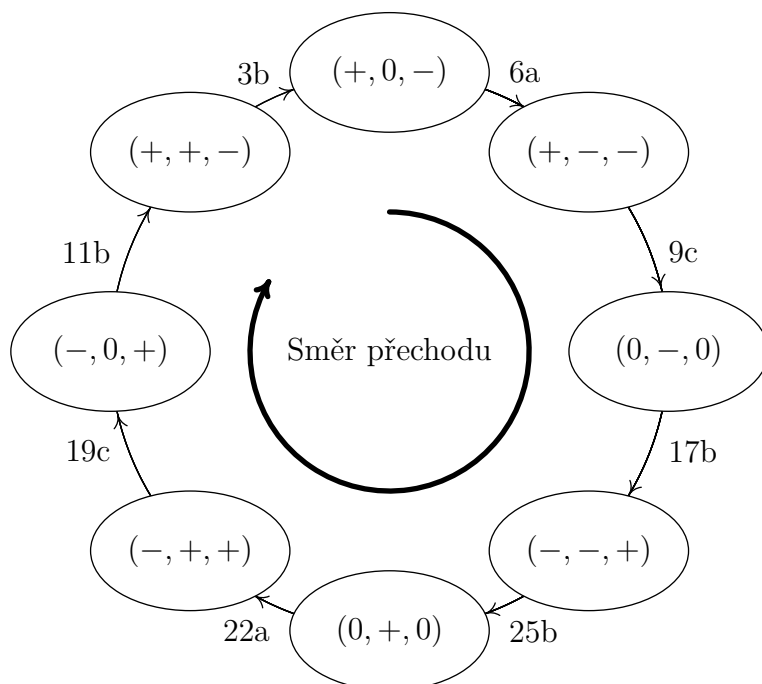
1.2.2 Přechodový graf

Z množiny M scénářů (viz tabulka 1.4, 1.5, 1.6, 1.8 a 1.9) lze generovat přechody mezi jednotlivými scénáři; výsledkem je *přechodový graf*.

Přechodový graf G (1.38) je orientovaný graf. Je dán dvojicí

$$G = (M, S), \quad (1.38)$$

kde M je množina scénářů (uzlů) a S je množina orientovaných hran (dále stručně hran) obsahující uspořádané dvojice scénářů z M . Prvky z S jsou hrany odpovídající přechodům mezi scénáři, jenž vycházejí z transformační



Obrázek 1.18 Přechodový graf G (Vlastní zpracování)

tabulky 1.10. Jednoduchý příklad přechodového grafu je na obrázku 1.18. Více o problematice orientovaných grafů lze nalézt v [52, 53].

Z obrázku 1.18 lze identifikovat hrany mezi jednotlivými scénáři, které odpovídají trendovému řešení harmonického pohybu (1.24). Zobrazené hrany mezi jednotlivými scénáři odpovídají tomu, jak mezi sebou přecházejí scénáře na obrázku 1.9. Popisky hran 6a, 9c, 17b, 25b, 22a, 19c, 11b, 3b (viz obrázek 1.18) představují značení přechodů v transformační tabulce 1.10 (viz [38]). Číslo v popisku odpovídá číslu řádku, písmeno v popisku odpovídá označení sloupce. Například označení hrany 6a odpovídá přechodu ze scénáře $(+, 0, -)$ do scénáře $(+, -, -)$.

Posloupnost hran přechodového grafu G mezi dvěma uzly m_0 a m_n se nazývá **orientovaný sled** (dále jen sled). Sled začíná v uzlu m_0 a končí v m_n . Jestliže $m_0 = m_n$ nazývá se sled **uzavřený**, jinak **otevřený**. Například posloupnost hran 6a, 9c, 17b, 25b, 22a, 19c, 11b, 3b je uzavřený sled.

Přechodový graf je **souvislý**, existuje-li mezi každými jeho uzly alespoň jeden sled. Více o této problematice lze nalézt v [52].

Množina všech možných přechodů mezi scénáři je uvedena v transformační tabulce 1.10.

Tabulka 1.10 Transformační tabulka (Vlastní zpracování dle [38])

	Z	a	b	c	Do d	e	f	g
1	+++	++0						
2	++0	+++	+-					
3	+-	++0	+0-	+00				
4	+0+	+++						
5	+00	+++	+--					
6	+0-	+--						
7	+ - +	+ - 0	+ 0 +	+ 0 0	0 - +	0 0 +	0 0 0	0 - 0
8	+ - 0	+ - +	+ - -	0 - 0				
9	+ - -	+ - 0	0 - -	0 - 0				
10	0 + +	++0	+-	+++				
11	0 + 0	++0	+-	+++				
12	0 + -	+-						
13	0 0 +	+++						
14	0 0 0	+++	---					
15	0 0 -	---						
16	0 - +	--+						
17	0 - 0	--0	--+	---				
18	0 - -	--0	--+	---				
19	- + +	- + 0	0 + +	0 + 0				
20	- + 0	- + -	- + +	0 + 0				
21	- + -	- + 0	- 0 -	- 0 0	0 + -	0 0 -	0 0 0	0 + 0
22	- 0 +	- + +						
23	- 0 0	- + +	---					
24	- 0 -	---						
25	- - +	--0	- 0 +	- 0 0				
26	- - 0	---	--+					
27	- - -	--0						

Z šestého řádku transformační tabulky 1.10 je patrné, že scénář $(+, 0, -)$ může přejít pouze na scénáře $(+, -, -)$. Naproti tomu scénář $(+, -, +)$ ze sedmého řádku transformační tabulky může přejít na některý ze sedmi scénářů, a to buď na scénář $(+, -, 0)$, nebo $(+, 0, +)$, nebo $(+, 0, 0)$, nebo $(0, -, +)$, nebo $(0, 0, +)$, nebo $(0, 0, 0)$, nebo $(0, -, 0)$.

Doprovodný komentář

Transformační tabulka 1.10 může být vhodně modifikována dle potřeb řešených problémů. Nicméně, transformace uvedené v tabulce 1.10 vycházejí ze základních vlastností elementárních funkcí matematické analýzy, jako je přímka, exponenciální funkce atd.

Lze tedy říci, že přechodový graf definuje na množině M relaci uspořádání, která umožňuje identifikovat vzájemné přechody mezi jednotlivými scénáři.

Pomocí přechodového grafu lze tedy uspořádat scénáře dle jejich časové posloupnosti. Na základě tohoto uspořádání lze predikovat chování sledovaného systému vyjádřeného trendovým modelem Q .

V následujících příkladech jsou znázorněny přechodové grafy G tlumeného kmitání, buzeného kmitání a harmonického pohybu z příkladu 1.1 a bankrotního modelu z příkladu 1.2.

Příklad 1.3. (a) Jak již bylo ukázáno v příkladu 1.1(a), řešením trendového modelu tlumeného kmitání je množina 13 scénářů, které lze zapsat následující tabulkou 1.11. První řádek této tabulky, který je šedě podbarven, představuje stav, do kterého když se systém dostane, tak již nemá dostatek energie, aby jej opustil. Hovoří se o ustáleném stavu. Řádky 2, 3, 5, 7, 10 a 12 představují tlumení; na prvních dvou pozicích X , DX se střídají symboly $+$ a $-$.

Tabulka 1.11 Trendové řešení tlumeného kmitání (Vlastní zpracování)

Scénář	X	DX	DDX
1	0	0	0
2	+	-	0
3	-	+	0
4	+	0	-
5	+	-	-

V případě trendové analýzy lze obdobnou informaci získat z přechodového grafu G na obrázku 1.19, který je konstruován na základě přechodů, tj. scénářů v tabulce 1.11 a transformační tabulky 1.10.

Čísla v kroužcích na obrázku 1.19 odpovídají očíslování scénářů v tabulce 1.11. Ustálený stav je od ostatních uzlů odlišen a je znázorněn pomocí čtverečku. Celkový počet hran je 18.

Z obrázku 1.19 je patrné, že $4 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 12 \rightarrow 11 \rightarrow 13 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 3 \rightarrow 10 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 4$ je uzavřený sled začínající a končící v uzlu 4. S výjimkou uzlu 1 existují uzavřené sledy i pro zbývající uzly přechodového grafu 1.19.

Dále je patrné, že do uzlu 1 vedou hrany z uzlů 10 a 12, přičemž z uzlu 1 žádná hrana nevychází. Pokud se tedy systém dostane do stavu 1, již v něm zůstane, a proto uzel 1 představuje ustálený stav.

Doprovodný komentář

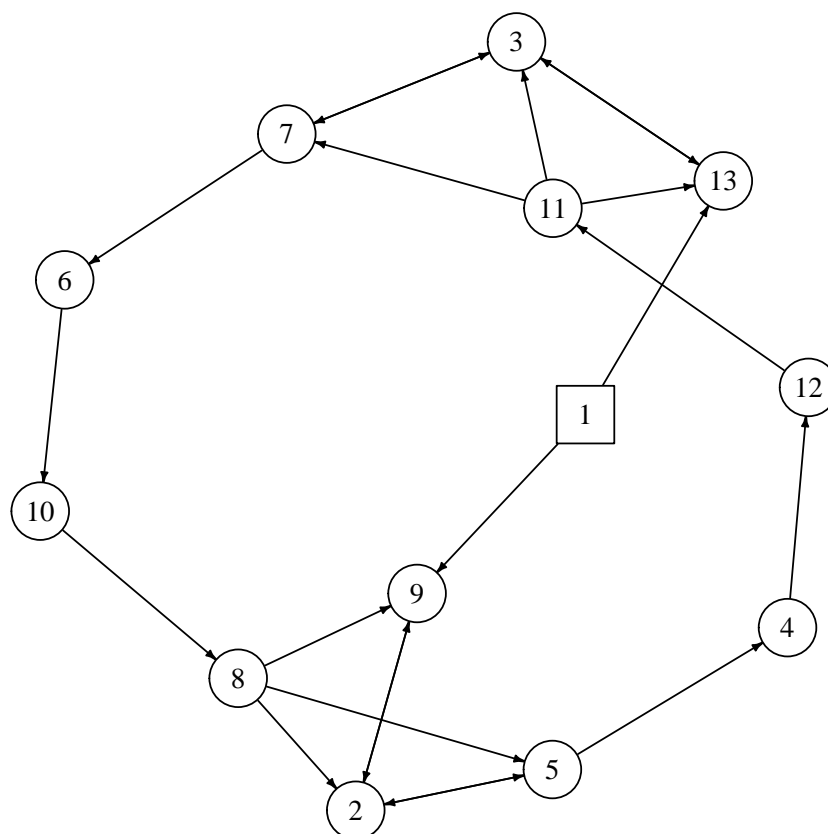
Jak je z výsledných scénářů (viz tabulka 1.11) a přechodového grafu 1.19 patrné, velikost výchylky (amplitudy) nehraje v případě trendového modelu tlumeného kmitání žádnou roli.

(b) Jak již bylo ukázáno v příkladu 1.1(b), řešením trendového modelu buzeného kmitání je množina 13 scénářů, které lze zapsat následující tabulkou 1.12. První řádek této tabulky, který je šedě podbarven, reprezentuje stav, z kterého systém vychází a nikdy si do něj nemůže vrátit. Řádky 2, 3, 5, 7, 9 a 13 představují buzení; na prvních dvou pozicích X , DX jsou stejné symboly $+$ nebo $-$. Tabulka 1.12 tedy poskytuje přehled o možných řešeních trendového modelu buzeného kmitání. Pokud by byla diferenciální rovnice buzeného kmitání řešena numericky, lze obdržet řešení v závislosti na čase (viz křivka na obrázku 1.8). V případě trendové analýzy lze obdobnou informaci získat z přechodového grafu G, který je konstruován na základě řešení v tabulce 1.12 a transformační tabulky 1.10.

Podobně jako u předcházejícího přechodového grafu, čísla v kroužcích

Tabulka 1.12 Trendové řešení buzeného kmitání (Vlastní zpracování)

Scénář	X	DX	DDX
1	0	0	0
2	+	+	0
3	-	-	0
4	+	0	-
5	+	+	-
6	-	0	+
7	-	-	+
8	0	+	+
9	+	+	+
10	-	+	+
11	0	-	-
12	+	-	-
13	-	-	-



Obrázek 1.20 Přejchodový graf G buzeného kmitání (Vlastní zpracování)

(viz obrázek 1.20) odpovídají číslům scénářů z tabulky 1.12. Ustálený stav je od ostatních uzlů odlišen a je znázorněn pomocí čtverečku. Celkový počet hran je 22.

Z obrázku 1.20 je patrné, že z uzlu 1 hrany pouze vychází. To znamená, že pokud systém z tohoto uzlu vyjde, neexistuje způsob, jak by se do něj mohl vrátit.

Doprovodný komentář

Stejně jako u tlumeného kmitání je z výsledných scénářů (viz tabulka 1.12) a přechodového grafu 1.20 patrné, že velikost výchylky (amplitudy) ani v tomto případě nehraje žádnou roli.

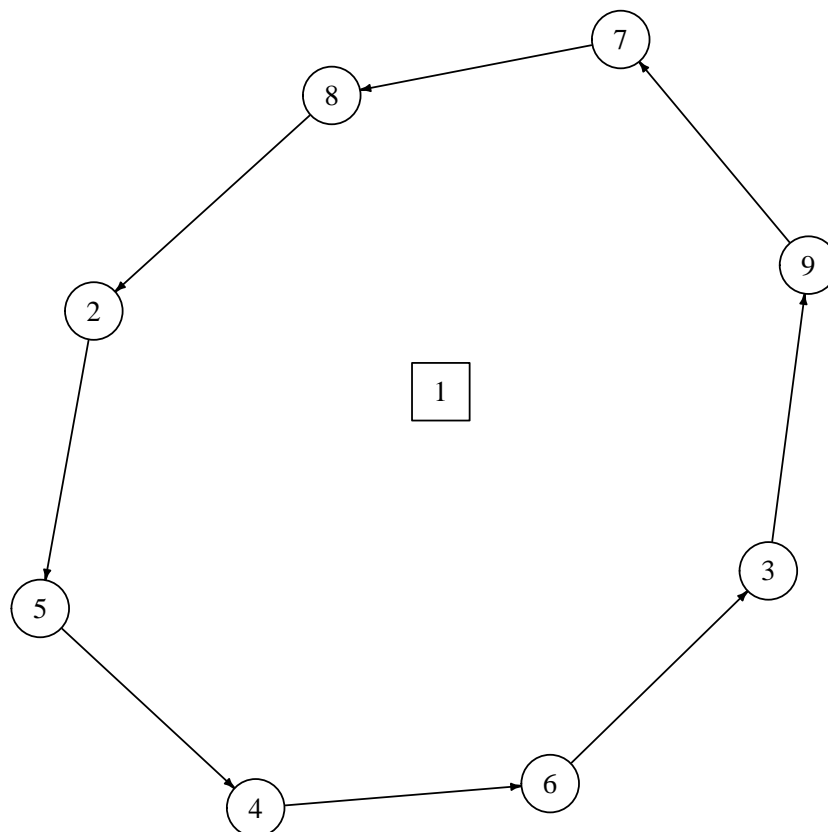
(c) Jak již bylo ukázáno v příkladu 1.1(c), řešením trendového modelu harmonického pohybu je množina 9 scénářů, které lze zapsat následující tabulkou 1.13. První řádek této tabulky, který je šedě podbarven, představuje ustálený stav, kolem kterého systém osciluje s konstantní amplitudou. Tedy ustáleného stavu není nikdy dosaženo.

Tabulka 1.13 Trendové řešení harmonického pohybu (Vlastní zpracování)

Scénář	X	DX	DDX
1	0	0	0
2	0	+	0
3	0	-	0
4	+	0	-
5	+	+	-
6	+	-	-
7	-	0	+
8	-	+	+
9	-	-	+

Tabulka 1.13 tedy dává přehled o možných řešeních trendového modelu harmonického pohybu. Pokud by byla diferenciální rovnice harmonického pohybu řešena numericky, lze obdržet řešení v závislosti na čase (viz křivka

na obrázku 1.9). V případě trendové analýzy lze obdobnou informaci získat z přechodového grafu G , který je konstruován na základě řešení v tabulce 1.13 a transformační tabulky 1.10.



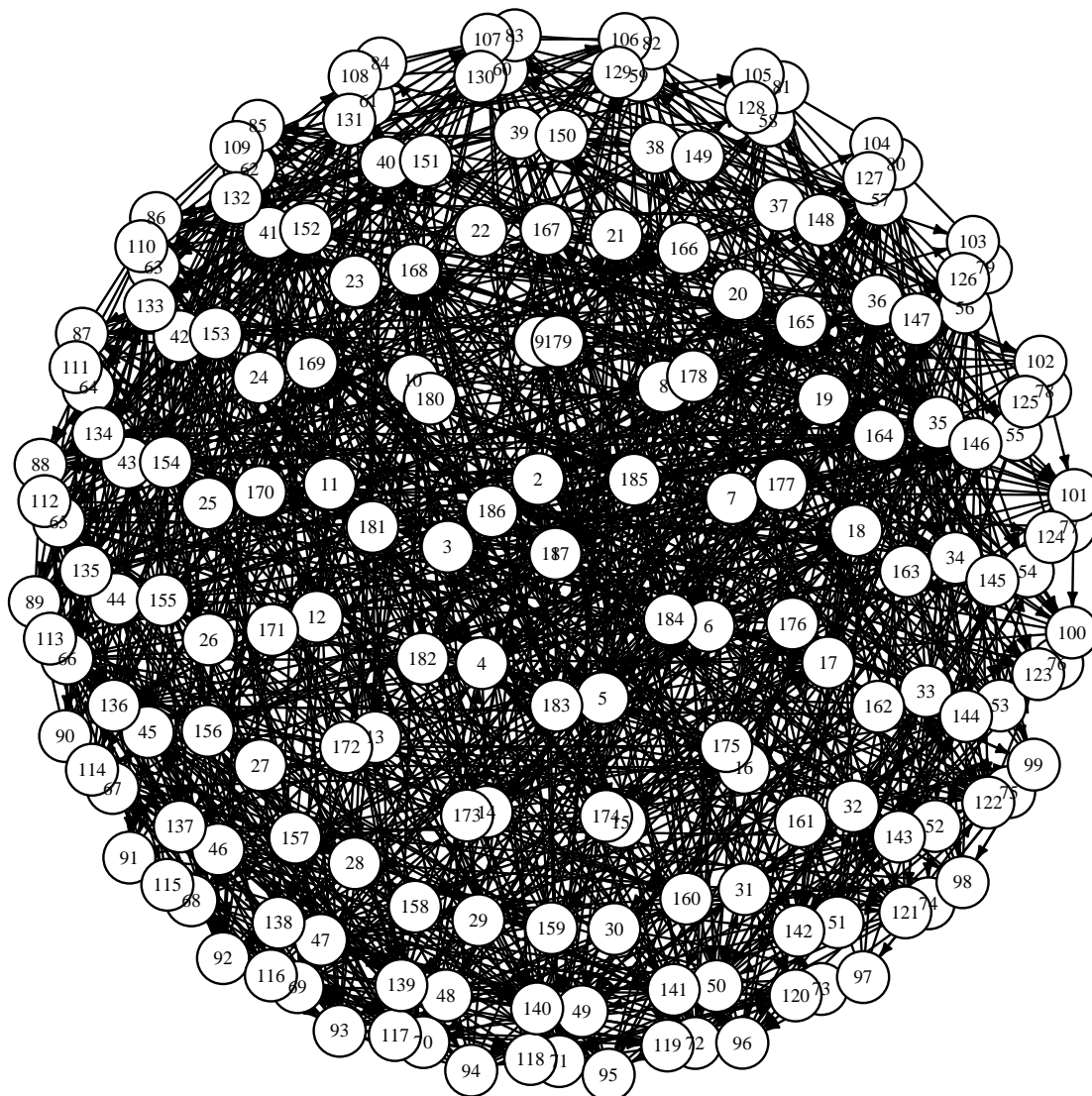
Obrázek 1.21 Přechodový graf G harmonického pohybu (Vlastní zpracování)

Čísla v kroužcích (viz obrázek 1.21) odpovídají číslům scénářů z tabulky 1.13. Ustálený stav je od ostatních uzlů odlišen a je znázorněn pomocí čtverečku. Celkový počet hran (přechodů) je 8.

Z obrázku 1.21 je patrné, že uzel 1 neinciduje s žádnou hranou. Jedná se tedy o izolovaný uzel (scénář). Také je z přechodového grafu patrné, že se lze v tomto grafu pohybovat pouze ve směru pohybu hodinových ručiček. ▲

Příklad 1.4. V příkladu 1.2 se dospělo k závěru, že trendové řešení bankrotního modelu je množina 187 scénářů. Dvacet možných řešení je uvedeno v tabulce 1.8. Užitím transformační tabulky 1.10 pro všech 187 scénářů lze

získat 1198 možných přechodů. Všech 187 uzlů a 1198 hran je znázorněno v přechodovém grafu G na obrázku 1.22.



Obrázek 1.22 Přechodový graf G bankrotního modelu (Vlastní zpracování)

Jak je z obrázku 1.22 zřejmé, při větším počtu scénářů a přechodů se přechodový graf stává nepřehledným. Existuje proto snaha o jeho zjednodušení, resp. zpřehlednění. Jedním z možných přístupů je, omezit se pouze na určité scénáře, např. kladné hodnoty (viz řešení bankrotního modelu v tabulce 1.9).

Doprovodný komentář

Další dva přístupy jsou nově navrženy v této práci. První z přístupů je založen na tom, že se nebere v úvahu druhá derivace (viz článek Přechodový graf při zanedbání druhých derivací), druhý přístup je založen na hledání podgrafu přechodového grafu (viz článek Trendový strom).

Z výše popsaného důvodu (viz příklad 1.2) se předpokládá omezení jen na kladné hodnoty proměnných Z , P a L . Tedy z množiny všech scénářů M_H jsou vybrány jen ty, které mají na prvních místech uspořádaných trojic symboly $+$. Pro výslednou množinu kladných řešení M_{H+} platí $M_{H+} \subset M_H$ a obsahuje 17 scénářů (viz tabulka 1.14).

Tabulka 1.14 Kladná řešení bankrotního modelu (Vlastní zpracování)

Scénář	Z	DZ	DDZ	P	DP	DDP	L	DL	DDL
1	+	+	+	+	+	+	+	-	-
2	+	+	-	+	+	0	+	-	-
3	+	+	-	+	+	+	+	-	-
4	+	+	-	+	+	-	+	-	+
5	+	+	-	+	+	-	+	-	-
6	+	+	-	+	+	-	+	-	0
7	+	+	0	+	+	+	+	-	-
8	+	0	+	+	0	+	+	0	-
9	+	0	-	+	0	-	+	0	+
10	+	0	0	+	0	0	+	0	0
11	+	-	+	+	-	+	+	+	-
12	+	-	-	+	-	0	+	+	-
13	+	-	-	+	-	+	+	+	-
14	+	-	-	+	-	-	+	+	+
15	+	-	-	+	-	-	+	+	-
16	+	-	-	+	-	-	+	+	0
17	+	-	0	+	-	+	+	+	-

Na základě scénářů v tabulce 1.14 a transformační tabulky 1.10 je identifikováno 40 přechodů. Grafické znázornění 17 uzlů a 40 hran představuje přechodový graf G na obrázku 1.23.

Z obrázku 1.23 je patrné, že uzel 10 tvoří „střed“ přechodového grafu.

pro více proměnných způsobit výpočetní komplikace. Kupříkladu, pokud jsou vyžadovány první i druhé derivace, tj. DX i DDX , pro 15 sledovaných proměnných, obsahuje množina všech možných uspořádaných trojic $2\,954\,312\,706\,550\,833\,698\,643$ scénářů. V takovýchto případech se již může narážet na technická omezení výpočetní techniky, např. velikost operační paměti. Existuje proto řada algoritmů, např. algoritmy založené na konfluencích nebo kondenzacích, jak lze tento problém do určité míry obejít (viz [54]).

Důležitou součástí všech řešených reálných problémů je interpretace výsledků, tj. jaké informace lze z řešení získat. V případě trendového přístupu je prvním stupněm informací množina trendových řešení (scénářů) M (viz příklady 1.1 a 1.2). Na základě těchto scénářů lze zjistit, zda sledované proměnné mohou být kladné nebo záporné, zda rostou nebo klesají apod. Druhý stupeň informací lze získat určením vzájemných přechodů mezi jednotlivými scénáři množiny M (viz příklady 1.3 a 1.4). Veškeré informace, které lze získat z množiny M scénářů mají kvalitativní povahu. Návrhová část této práce (článek 3.2.3 a 3.2.4) pojednává o přístupu, jak lze z množiny M trendových řešení získat i informace kvantitativní.

1.3 Současný stav v teorii rozhodování

Každý člověk se ve svém životě dostává do situací, kdy volí jednu variantu z více nabízených dle kritérií, respektive osobních preferencí. Příkladem takových situací mohou být prezidentské volby, výběr jídla z poledního menu v restauraci apod. Výběr varianty z více možných podle zvoleného kritéria se nazývá **řešením rozhodovacího problému**.

Teorie rozhodování se zabývá formulací a řešením rozhodovacích problémů. V ekonomické praxi se lze setkat s její aplikovanou formou, označovanou jako *rozhodovací analýza*, která je určena pro podporu řešení rozhodovacích problémů za neurčitosti. Neurčitost vstupuje do rozhodovacích problémů dílem řešitelů, kteří se při rozhodování často opírají jen o své zkušenosti a znalosti. Charakteristickým rysem teorie rozhodování je snaha

skloubit exaktní postupy a modelové nástroje se znalostmi a zkušenostmi řešitelů rozhodovacích problémů, např. manažerů a expertů (viz [55, 56]).

1.3.1 Základní pojmy

Rozhodováním se rozumí řešení rozhodovacích problémů. V každém rozhodování musí být přítomny tyto konstituenty (viz [55]):

- objekt rozhodování (o čem je rozhodováno),
- subjekt rozhodování (kdo rozhoduje), tj. *rozhodovatel*,
- cíle, kterých má být dosaženo,
- varianty rozhodování,
- kritéria výběru variant rozhodování,
- možné důsledky variant rozhodování.

Varianty jsou možnosti, které má rozhodovatel na výběr k dosažení svých cílů.

Rozhodnutím se rozumí akt volby jedné z několika možných variant s ohledem na zvolené rozhodovací kritérium. Tento akt je pod kontrolou subjektů rozhodování. V manažerské praxi se nejčastěji používá tzv. *výnosové kritérium*, které maximalizuje zisk, respektive *nákladové kritérium*, které minimalizuje výrobní náklady (viz [55]).

Subjekt, který je k výsledku rozhodování lhostejný, se nazývá **indiferentní účastník**, např. trh, přírodní podmínky apod. Subjekt, který se snaží o výběr co nejlepší varianty podle zvoleného kritéria, se nazývá **racionální účastník**, stručně **rozhodovatel** (viz [55]).

Situace jsou stavy okolí, které jsou mimo kontrolu rozhodovatele. Situace vznikají působením indiferentního účastníka. Například růst, stagnace nebo pokles cen nemovitostí.

Jestliže se výsledky rozhodování hodnotí pouze pomocí jedné charakteristiky, lze hovořit o rozhodovacím problému se *skalárním hodnocením výsledků*. Jestliže se výsledky rozhodování hodnotí více charakteristikami, lze hovořit o rozhodovacím problému s *vektorovým hodnocením výsledků* (viz [55]).

1.3.2 Rozhodování za neurčitosti

Rozhodování za neurčitosti se týká rozhodovacích problémů s jedním rozhodovatelem a indiferentním účastníkem, se skalárním ohodnocením výsledků, přičemž rozhodovatel nezná objektivní pravděpodobnosti situací.

Při rozhodovací analýze se postupuje takto (viz [55, 56]):

1. Formulace rozhodovacího problému.
2. Stanovení množiny variant $\mathbf{A} = \{A_1, A_2, \dots, A_J\}$.
3. Stanovení množiny situací $\mathbf{S} = \{S_1, S_2, \dots, S_I\}$.
4. Ohodnocení variant rozhodnutí s ohledem na situace reálnou funkcí $x_{ij} = x(S_i, A_j)$, kde $i = 1, 2, \dots, I$ a $j = 1, 2, \dots, J$.
5. Stanovení pravděpodobnosti situací $P(S_i)$, $i = 1, \dots, I$.
6. Zvolení rozhodovacího kritéria a porovnání jednotlivých variant rozhodování vzhledem k tomuto kritériu.
7. Realizace zvolené varianty.
8. Vyhodnocení zvolené varianty.

Doprovodný komentář

Pravděpodobnostmi v kroku 5 mohou být i tzv. subjektivní pravděpodobnosti. Tyto pravděpodobnosti vyjadřují míru osobního přesvědčení rozhodovatele o možnosti výskytu určité situace. Lze pak hovořit o tzv. expertních odhadech.

Aby se rozhodování neopíralo pouze o subjektivní dojmy rozhodovatele, zavádí se pravidla rozhodovací analýzy. Tato pravidla slouží ke stanovení, tzv. preferenčního uspořádání jednotlivých variant, tj. k určení pořadí výhodnosti hodnocených variant dle zvolených kritérií rozhodování.

Pravidlo očekávané hodnoty výnosů

Toto pravidlo je založeno na výpočtu střední hodnoty zvoleného kritéria hodnocení variant, přičemž varianta s nejvyšší střední hodnotou se považuje za optimální. Patří k nejrozšířenějšímu kritériu pro výběr optimální strategie v různých rozhodovacích problémech; je však nutné přihlídnout k tomu, že toto pravidlo nebere v úvahu odlišnou míru rizika jednotlivých variant rozhodování (viz [55]).

Při použití tohoto pravidla lze postupovat takto (viz [55, 56]):

1. Pro zvolené kritérium hodnocení X je vypočtena střední hodnota $E(X|A_j)$ pro zvolenou variantu A_j situace podle vzorce

$$E(X|A_j) = \sum_i x(S_i, A_j)P(S_i), \quad j = 1, 2, \dots, J. \quad (1.40)$$

2. Optimální varianta rozhodnutí A_{opt} je rozhodnutí s maximální střední hodnotou.

Pravidlo očekávané hodnoty a rozptylu výnosů

Pravidlo očekávané hodnoty výnosů z předcházejícího článku o pravidle očekávaných výnosů nebere v úvahu odlišnou míru rizika jednotlivých variant rozhodování. Tento nedostatek napravuje pravidlo očekávané hodnoty a rozptylu, které se střední hodnotou používá navíc rozptyl kritéria rozhodování. Tento rozptyl charakterizuje míru rizika jednotlivých variant. Čím je rozptyl rizikové varianty větší, tím je vyšší i riziko této varianty (viz [55, 56]).

Rozptyl kritéria rozhodování X pro zvolenou variantu A_j rizikové situace, označený $D(X|A_j)$, se stanoví podle vzorce

$$D(X|A_j) = \sum_i [x(S_i, A_j)]^2 P(S_i) - [E(X|A_j)]^2, \quad j = 1, 2, \dots, J. \quad (1.41)$$

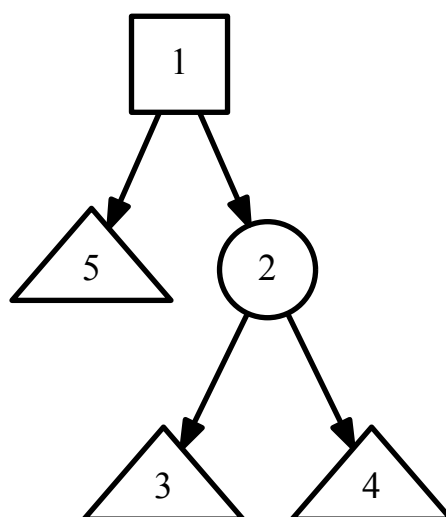
Mimo rozptyl lze pro posouzení rizika použít i tzv. variační koeficient, označený $V(X|A_j)$. Variační koeficient pro zvolenou variantu A_j rizikové situace se stanoví zlomkem (viz [55, 56])

$$V(X|A_j) = \frac{\sqrt{D(X|A_j)}}{E(X|A_j)}. \quad (1.42)$$

Doprovodný komentář

Rozhodovací problémy lze také řešit pomocí tzv. pravidla očekávaného užítku, kdy je zohledněn postoj racionálního účastníka (rozhodovatele) k riziku. Více lze o tomto problému nalézt v [55, s. 134].

1.3.3 Rozhodovací strom



Obrázek 1.24 Rozhodovací strom (Vlastní zpracování)

Rozhodovací strom je grafickým nástrojem pro znázornění a řešení několika úrovněových rozhodovacích problémů za rizika resp. neurčitosti. Umožňuje přehledné zobrazení důsledků variant vzhledem k zvolenému kritériu rozhodování, ale umožňuje také snadno stanovit optimální strategii (viz [55, 56]).

Rozhodovací strom je strom (viz [52]), který obsahuje právě jeden počáteční uzel, alespoň dva koncové uzly a do každého uzlu vstupuje právě jediná hrana (vyjma počátečního uzlu). Účelově lze rozlišit tři základní typy uzlů: *rozhodovací*, *situační* a *koncové* (viz [56, 57]).

Rozhodovací uzel zobrazuje ty fáze rozhodovacího problému, kde má rozhodovatel pod svou kontrolou výběr některé varianty. Tyto varianty jsou

znázorněny hranami vycházejícími z tohoto rozhodovacího uzlu. Rozhodovací uzly jsou obvykle znázorněny čtverci nebo obdélníky.

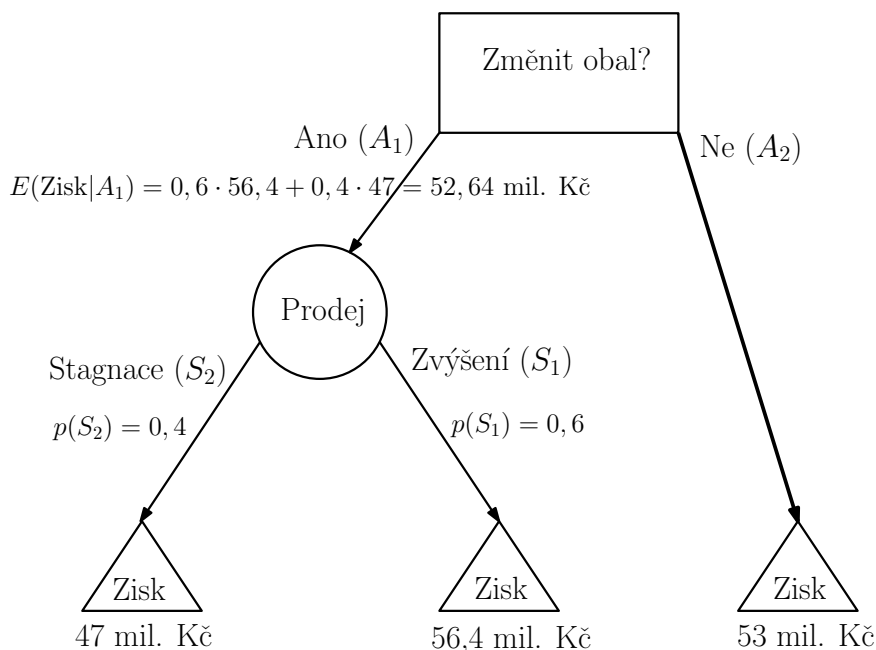
Situační uzel popisuje určitou situaci, kterou rozhodovatel nemá pod svou kontrolou; někdy je nazýván jako tzv. loterie. Hrany vycházející z tohoto situačního uzlu představují možné výsledky rizikových faktorů. Situační uzly se obvykle znázorňují kroužky (viz [55, 57]).

Koncový uzel, nazýván též terminál, představuje variantu rizikové situace. Koncové uzly se obvykle znázorňují trojúhelníky (viz [56]).

Při použití rozhodovacího stromu se postupuje takto (viz [55]):

1. Rozhodovací problém je znázorněn rozhodovacím stromem.
2. Hranám vycházejících ze situačních uzlů jsou přiřazeny pravděpodobnosti, subjektivní pravděpodobnosti, které přísluší situačním variantám. Koncovým uzlům jsou přiřazeny hodnoty zvoleného kritéria rozhodování.
3. Tento rozhodovací strom se využije ke stanovení optimální strategie, a to postupem od koncových uzlů k počátečnímu uzlu, tzv. zpětným chodem.
 - Stanoví se střední hodnota (1.40) zvoleného kritéria hodnocení pro všechny situační na části rozhodovacího stromu od koncové části stromu. Získané hodnoty se zapíší ke hraně, která jde z rozhodovacího uzlu do situačního uzlu.
 - Je vybrána varianta s nejvyšší střední hodnotou.
 - Opakováním předcházejících dvou kroků od koncového uzlu k počátečnímu uzlu lze určit optimální rozhodnutí.

Příklad 1.5. Použití výše popsaného postupu je ukázáno na obrázku 1.25. Rozhodovací strom je vytvořen pro podporu rozhodnutí vedení společnosti pro změnu obalu jistého výrobku. Jak je z obrázku vidět, střední hodnota zisku pro variantu A_1 (změna obalu) při situacích S_1 , S_2 je menší než zisk varianty



Obrázek 1.25 Rozhodovací strom - podklady pro rozhodnutí (Vlastní zpracování)

A_2 (neměnit obal), tedy $52,64 < 53$ mil. Kč. Doporučení vedení společnosti tedy zní, obal neměnit. ▲

1.3.4 Problémy reálných rozhodovacích problémů

Jak již bylo uvedeno výše, s rozhodovacími problémy se lze setkat v širokém spektru disciplín, např v inženýrství, ekonomii, sociologii, ekologii, informatice, managementu atd. (viz [58–61]). Řešení rozhodovacích problémů v praxi je často obtížně realizovatelné z důvodu nedostatku nebo zkreslení vstupních informací.

Například při chemických, petrochemických a potravinářských procesech vstupují do rozhodovacích problémů nepřesná měření, která mohou být způsobena hrubými systematickými chybami, chaotickými změnami koncentrace, průtoky atd. V ekonomii (ekonomice) mohou být nejasnými daty půjčky a investice. Problém se vstupními informacemi vzniká také při řízení více společných zdrojů, například současný požadavek na splnění ekologických a ekonomických hledisek (viz [62]).

Většina z rozhodovacích problémů může být reprezentována rozhodo-

vacím stromem a souborem dostupných vstupních informací, jako jsou pravděpodobnosti, penále, věrohodnosti atd. (viz [62]). V reálných rozhodovacích problémech není k dispozici úplné spektrum vstupních informací; lze pak mluvit o nedostatku vstupních informací (viz [63, 64]).

Jedním z možných přístupů (viz [65, 66]) řešení nedostatku vstupních informací je užití teorie fuzzy množin (viz [67–69]).

Problémy týkající se nedostatku vstupních informací lze také řešit pomocí *heuristik* (viz [70]). Pokud nejsou známy žádné vstupní informace, jako jsou pravděpodobnosti, penále, které jsou požadovány zvoleným rozhodovacím algoritmem, pak rozhodovací problém je řešen za tzv. *celkové nevědomosti*.

Celková nevědomost znamená, že je znám pouze tvar rozhodovacího stromu bez znalosti ohodnocení hran. Tradiční rozhodovací algoritmy nejsou schopny brát v úvahu pouze tvar rozhodovacího stromu (viz [71, 72]).

Pokud jsou k dispozici vstupní informace jen pro některé prvky rozhodovacího stromu, například je známé ohodnocení jen některých hran vycházejících ze situačních uzlů, pak rozhodovací problém je řešen v rámci **částečné nevědomosti**. Rozhodovací problémy při částečné nevědomosti jsou obvykle řešeny pomocí Bayesova teorému (viz [73]). Nicméně, tyto rozhodovací algoritmy nejsou schopny jednoduše absorbovat dodatečné informace. To platí zejména v případě dodatečných informací, které jsou určeny na základě heuristik založených na zdravém rozumu (viz [29]).

Heuristiky založené na zdravém rozumu jsou často jedinými dostupným generátorem chybějících vstupních informací, pokud je rozhodovací problém řešen za celkové nevědomosti. Tedy heuristika generuje všechny požadované informace. Nicméně, rozhodovací problém za částečné nevědomosti zahrnuje některé další dodatečné informace položky. Informace získané heuristikou a dodatečné informace nejsou většinou konzistentní, a proto je nevyhnutelné přistoupit k tzv. *kompromisu*.

Kompromisní algoritmy jsou založeny na různých formálních nástrojích (viz [74]). Existuje několik problémů neúplného rozhodování spolu

s příslušnými algoritmy jejich řešení (viz [61, 75, 76]). Problém většiny těchto algoritmů je jejich náročnost na pochopení a realizaci.

Rozhodování v rámci celkové nevědomosti je jednoduché, pokud příslušná heuristika je jednoduchá. V další části práce je představen jednoduchý přístup, jak řešit rozhodovací problémy za částečné nevědomosti. Výhodou tohoto přístupu spočívá v tom, že je založen na snadno pochopitelné heuristice.

KAPITOLA 2

Nové formální nástroje pro práci s velmi neurčitými informacemi v ekonomických problémech

☞ EKONOMICKÁ MOTIVACE

Vedení společnosti může stát při svém rozhodování před řadou otázek. *Má smysl investovat do nového produktu, o kterém jsou na trhu šířeny fámy? Jaký bude dopad šíření fám na prvotní veřejnou nabídku akcií společnosti?* Na tyto otázky dávají odpověď nové formální nástroje popsane v této kapitole.

V této kapitole je navržen nový způsob, jak určit přechodový graf při neuvážování druhých derivací a přístup vyhodnocení trendového modelu, který rozšiřuje stávající přístupy vyhodnocení trendového modelu popsane v podkapitole 1.2. Tento nový přístup je založen na tzv. *trendovém stromu* a jeho vyhodnocení, které vychází z řešení rozhodovacích úloh za neurčitosti.

2.1 Přechodový graf při zanedbání druhých derivací

Jak již bylo uvedeno v článku 1.2.2, přechodový graf $G = (M, S)$ je graf, který se skládá z uzlů M a orientovaných hran S mezi těmito uzly. Hrany jsou určovány na základě transformační tabulky 1.10. Tato transformační tabulka je založena na tripletu (X, DX, DDX) , kde DX a DDX představuje první a

druhou derivací X a vnášíj do řešeného problému dynamiku. Z transformační tabulky 1.10 lze například uvažovat následující posloupnost přechodů:

$$(+, +, 0) \xrightarrow{2b} (+, +, -) \xrightarrow{3b} (+, 0, -) \xrightarrow{6a} (+, -, -).$$

Z posloupnosti přechodů je patrné, že rostoucí trend, triplet $(+, +, 0)$, nikdy nepřejde na klesající trend, triplet $(+, -, -)$, aniž by nepřešel přes vrchol, respektive extrém, triplet $(+, 0, -)$. Podobně pro první symbol z tripletu je z transformační tabulky patrné, že kladná hodnota se nezmění na zápornou, aniž by nepřešla přes vodorovnou osu, respektive nulu (viz obrázky 1.7 a 1.8).

Doprovodný komentář

Z přechodového grafu lze stanovit pro řešení daného modelu polohu jeho grafu vzhledem k vodorovné ose, růst a pokles, konvexitu a konkavitu, extrémy. Výstupem je tedy co nejvěrnější popis chování daného modelu.

2.1.1 Redukce transformační tabulky

Při zanedbání druhých derivací pak lze transformační tabulku 1.10 zjednodušit na redukovanou transformační tabulku 2.1. Zanedbání druhých derivací fakticky znamená, že druhé derivace mohou nabývat jakýchkoliv kvalitativních hodnot (1.4).

Tabulka 2.1 Redukovaná transformační tabulka (Vlastní zpracování)

	Z	Do			
		a	b	c	d
1	++*	++*	+0*		
2	+0*	++*	+*		
3	+*	+*	+0*	0*	00*
4	0+*	++*			
5	00*	++*	--*		
6	0*	--*			
7	-+*	-+*	-0*	0+*	00*

8	- 0 *	- + *	- - *	
9	- - *	- - *	- 0 *	
	Z	a	b	c d
			Do	

Na základě této redukované transformační tabulky 2.1 lze určit redukovaný přechodový graf.

Doprovodný komentář

I z tohoto přechodového grafu lze stanovit pro řešení daného modelu polohu jeho grafu vzhledem k vodorovné ose, intervaly růstu a poklesu, extrémy. Výstupem je tedy opět co nejvěrnější popis chování daného modelu s tou výjimkou, že při zanedbání druhých derivací nelze určit intervaly konvexity a konkavity a inflexní body.

Podrobnější interpretace přechodového grafu při zanedbání druhých derivací bude ukázána na příkladu v článku 3.1.2.

2.1.2 Výhody navrhovaného přístupu

Předností navrhovaného přístupu při zanedbání druhých derivací je podstatné snížení počtu řešení daného modelu. Jde tedy o snížení počtu scénářů, a z toho plynoucí snížení počtu hran přechodového grafu.

V příkladu 1.2 byl řešen bankrotní model, jehož řešením bylo 187 scénářů (viz tabulka 1.8) a přechodový graf G se skládal z 1 198 hran (viz obrázek 1.22). Při zanedbání druhých derivací se řešení tohoto bankrotního modelu redukuje na 33 scénářů (viz tabulka 2.2).

Tabulka 2.2 Řešení bankrotního modelu při zanedbání druhých derivací (Vlastní zpracování)

Scénář	Z	DZ	DDZ	P	DP	DDP	L	DL	DDL
1	+	+	*	+	+	*	+	-	*
2	+	+	*	+	+	*	0	-	*

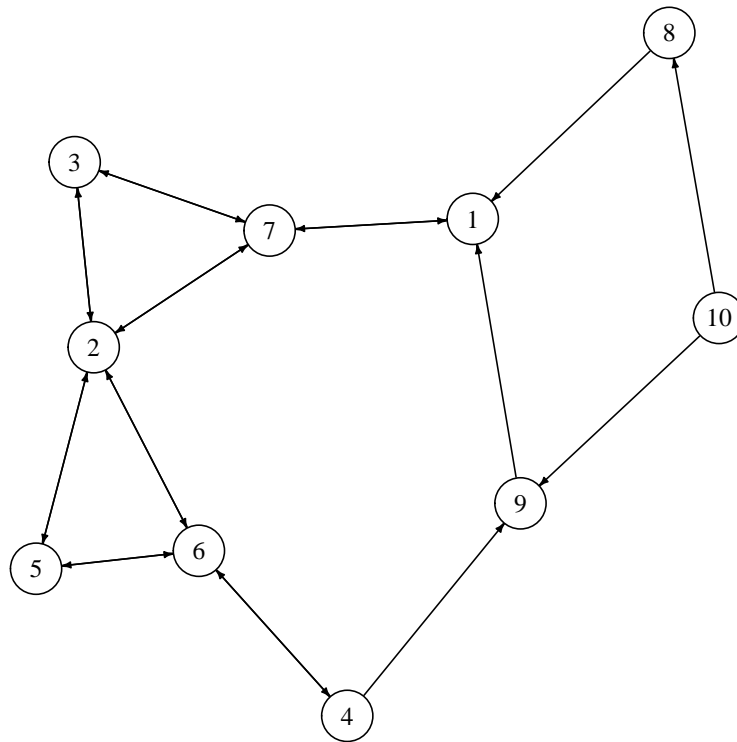
3	+	+	*	+	+	*	-	-	*
4	+	0	*	+	0	*	+	0	*
5	+	0	*	+	0	*	0	0	*
6	+	0	*	+	0	*	-	0	*
7	+	-	*	+	-	*	+	+	*
8	+	-	*	+	-	*	0	+	*
9	+	-	*	+	-	*	-	+	*
10	0	+	*	+	+	*	+	-	*
11	0	+	*	+	+	*	0	-	*
12	0	+	*	+	+	*	-	-	*
13	0	0	*	+	0	*	+	0	*
14	0	0	*	+	0	*	0	0	*
15	0	0	*	+	0	*	-	0	*
16	0	-	*	+	-	*	+	+	*
17	0	-	*	+	-	*	0	+	*
18	0	-	*	+	-	*	-	+	*
19	-	+	*	+	+	*	+	-	*
20	-	+	*	+	+	*	0	-	*
21	-	+	*	+	+	*	-	-	*
22	-	0	*	+	0	*	+	0	*
23	-	0	*	+	0	*	0	0	*
24	-	0	*	+	0	*	-	0	*
25	-	-	*	+	-	*	+	+	*
26	-	-	*	+	-	*	0	+	*
27	-	-	*	+	-	*	-	+	*
28	-	+	*	0	+	*	+	-	*
29	-	0	*	0	0	*	+	0	*
30	-	-	*	0	-	*	+	+	*
31	-	+	*	-	+	*	+	-	*
32	-	0	*	-	0	*	+	0	*
33	-	-	*	-	-	*	+	+	*
Scénář	<i>Z</i>	<i>DZ</i>	<i>DDZ</i>	<i>P</i>	<i>DP</i>	<i>DDP</i>	<i>L</i>	<i>DL</i>	<i>DDL</i>

Přechodový graf na obrázku 2.1 určený na základě těchto scénářů a transformační tabulky 2.1 pak obsahuje 86 přechodů.

V případech, kdy je potřebné znát i druhé derivace, je nutné k vyhodnocení přechodového grafu s velkým počtem hran přistupovat způsobem, který je popsán v následujícím článku.

2.2 Nový přístup pro vyhodnocení přechodového grafu

Přechodový graf G (1.38), který je zaveden v článku 1.2, může obsahovat uzly, kterými lze při dodržení orientace hran procházet nekonečně mnohokrát,



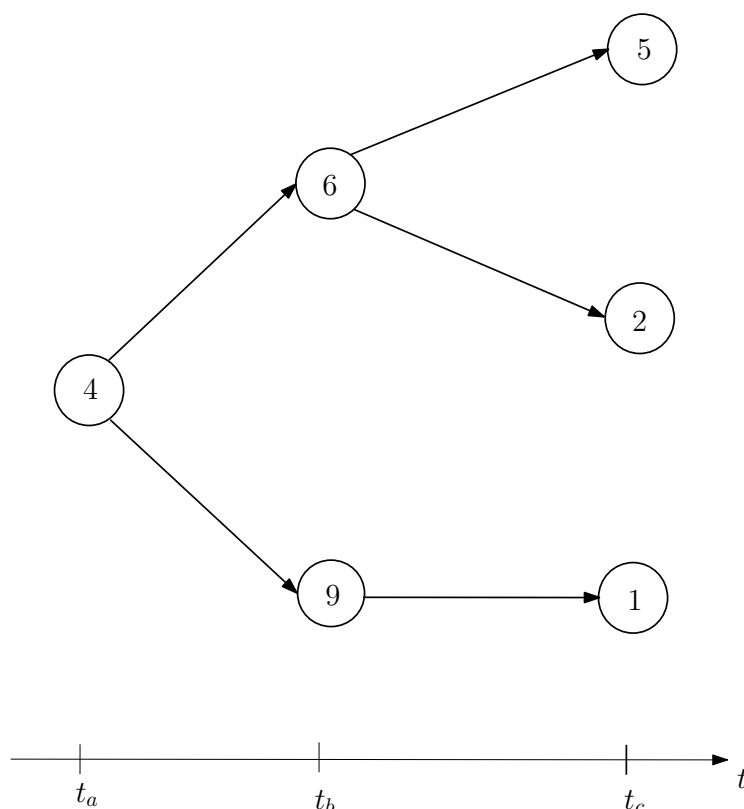
Obrázek 2.2 Přechodový graf G (Vlastní zpracování)

Doprovodný komentář

K výše uvedenému zavedení trendového stromu je nutné poznamenat, že při konstrukci trendového stromu z přechodového grafu je zohledňováno i časové hledisko. Každou hranu přechodového grafu lze chápat jako pohyb po časové ose ve smyslu minulost \rightarrow přítomnost \rightarrow budoucnost. Proto může nastat situace, že se v trendovém stromu objeví uzel se stejným číslem vícekrát, například uzel 1 na obrázku 2.5. Z časového hlediska se však jedná o různé uzly. Nelze se tedy vracet v čase.

Na obrázku 2.3 je ukázka trendového stromu, který vychází z přechodového grafu na obrázku 2.2 při uvažování časového hlediska a respektování nerovnosti $t_a < t_b < t_c$. Scénář č. 4 je kořen a scénáře č. 1, 2 a 5 jsou koncové uzly.

Množina koncových uzlů M_{K_i} , pro $i = 1, 2, \dots, m$, je tedy nezbytná pro určení trendového stromu. Existují dva základní důvody, proč určovat



Obrázek 2.3 Trendový strom O (Vlastní zpracování)

množiny koncových uzlů M_K , které ovlivňují způsob jejich volby.

Koncové uzly lze určit přímo tím, že se zvolí konkrétní scénáře z množiny M všech řešení. Tento způsob se využívá v případech, kdy jsou známy konečné stavy sledované soustavy a je potřebné určit cesty, jak se soustava do těchto stavů může dostat.

Druhý a častější důvod spočívá v tom, že konečné stavy sledované soustavy nejsou známy, a je potřebné je určit. Jinak řečeno, je potřebné predikovat chování sledovaného systému. V tomto případě je nutné pracovat s dodatečnými informacemi. Dodatečné informace lze snadno do trendového stromu zavést pomocí přechodů S a to tak, že každému přechodu, respektive hraně je přiřazena určitá informace.

Dodatečná informace je statistický ukazatel, který charakterizuje určitou skutečnost (určitý jev). Tento ukazatel lze členit a klasifikovat z mnoha hledisek, např. časového, prostorového nebo věcného (viz [55]). Příklady možných

ukazatelů jsou:

- doba trvání - každý přechod mezi scénáři trvá určitý čas;
- náklady - každý přechod mezi scénáři je spojen s finančními náklady;
- počet proměnných - každý přechod mezi scénáři je realizován změnou sledovaných proměnných (lze rozlišovat proměnné, které jsou pod kontrolou managementu a které nejsou pod jeho kontrolou);
- pravděpodobnost - každý přechod mezi scénáři se realizuje s určitou pravděpodobností;
- atd.

2.2.2 Postup určení trendového stromu

Pokud jsou pro jednotlivé hrany známy jejich ohodnocení, lze určení trendového stromu O popsat následujícím postupem.

1. Je zvolena podmínka pro ukončení vytváření trendového stromu O .
2. Jako kořen stromu je z množiny M všech řešení trendového modelu vybrán jeden uzel (scénář) r . Tento uzel je označen jako uzel i .
3. Je vybrána hrana (přechod) $s_{i,j} \in S$, vycházející z uzlu i do uzlu j , kde $j \in M$.
4. Přechod po hraně $s_{i,j}$ do uzlu j .
5. Kontrola podmínky z bodu 1 dle ohodnocení hrany $s_{i,j}$.
 - Pokud je podmínka z bodu 1 splněna, uzel j je koncový, a tedy $j \in M_{K_r}$ a $s_{i,j} \in S_{K_r}$. Uzel i zůstává a pokračuje se bodem 3.
 - Pokud není podmínka z bodu 1 splněna, $s_{i,j} \in S_{K_r}$, uzel j je novým uzlem i a pokračuje se bodem 3.
6. Je určena množina koncových uzlů M_{K_r} a množina možných přechodů S_{K_r} pro kořen r z bodu 2.

Určení trendového stromu O dle výše popsaného postupu je ukázáno v následujícím příkladu vycházejícího z bankrotního modelu v příkladu 1.2.

Příklad 2.1. V příkladu 1.2 bylo určeno, že existuje 17 scénářů bankrotního modelu (viz tabulka 1.14). Na základě scénářů v tabulce 1.14 a transformační

tabulky 1.10 je identifikováno 40 možných přechodů.

Každému přechodu (hraně přechodového grafu 1.23) je přiřazen ukazatel (a) času, (b) počtu změněných proměnných.

(a) Každému přechodu je přiřazen časový údaj, který představuje dobu trvání přechodu z jednoho scénáře do druhého. Tyto časové údaje mohou vycházet z předešlých pozorování (historických dat), ze zkušeností řešitelů daného problému apod.

V tabulce 2.3 jsou uvedeny přechody mezi scénáři z tabulky 1.14 a časové údaje, které jsou udávány v rocích. Tedy minimální doba trvání přechodu z jednoho scénáře do druhého trvá jeden rok.

Tabulka 2.3 Časové ohodnocení přechodů (Vlastní zpracování)

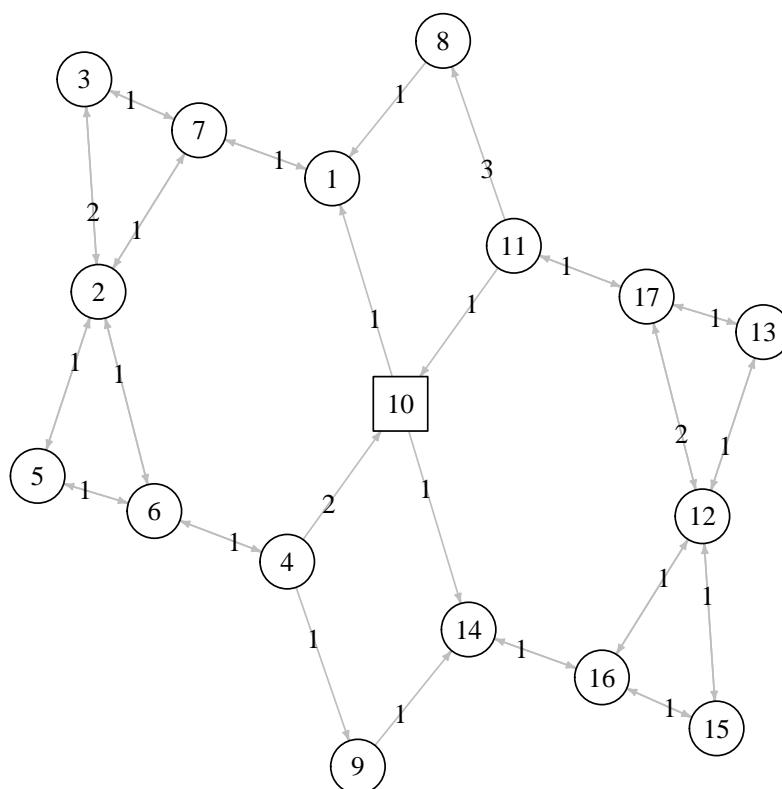
Z uzlu <i>i</i>	Do uzlu <i>j</i>	Doba trvání <i>t</i> [rok]	Z uzlu <i>i</i>	Do uzlu <i>j</i>	Doba trvání <i>t</i> [rok]
1	7	1	10	1	1
2	3	2	10	14	1
2	5	1	11	8	3
2	6	1	11	10	1
2	7	1	11	17	1
3	2	2	12	13	1
3	7	1	12	15	1
4	6	1	12	16	1
4	9	1	12	17	2
4	10	2	13	12	1
5	2	1	13	17	1
5	6	1	14	16	1
6	2	1	15	12	1
6	4	1	15	16	1
6	5	1	16	12	1
7	1	1	16	14	1
7	2	3	16	15	1
7	3	1	17	11	1
8	1	1	17	12	2
9	14	1	17	13	1

Grafické znázornění přechodů z tabulky 2.3 je vidět na obrázku 2.4.

Nyní je uvažováno, že *současný stav společnosti je ve stavu, který je*

vyjádřen uzlem 10. Pokud chce vedení společnosti zjistit, v jakém stavu se bude společnost nacházet za tři roky, lze tuto informaci zjistit pomocí trendového stromu.

Trendový strom lze zjistit pomocí postupu popsaného v článku 2.2.2. Uzel 10 je zvolen kořenem, podmínkou ukončení je dosažení součtu 3 časových ohodnocení hran přechodového grafu 2.4. Zjištěný trendový strom je vidět na obrázku 2.5.



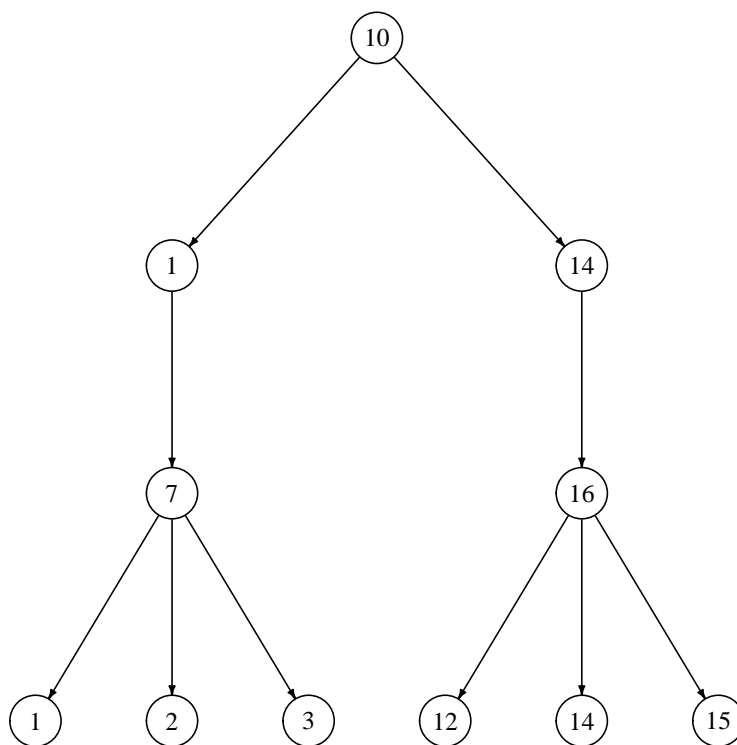
Obrázek 2.4 Přechodový graf s ohodnocením hran (Vlastní zpracování)

Z obrázku 2.5 je vidět, že po třech letech se podnik může dostat do stavů, které jsou popsány scénáři č. 1, 2, 3, 12, 14 a 15 (viz tabulka 1.14).

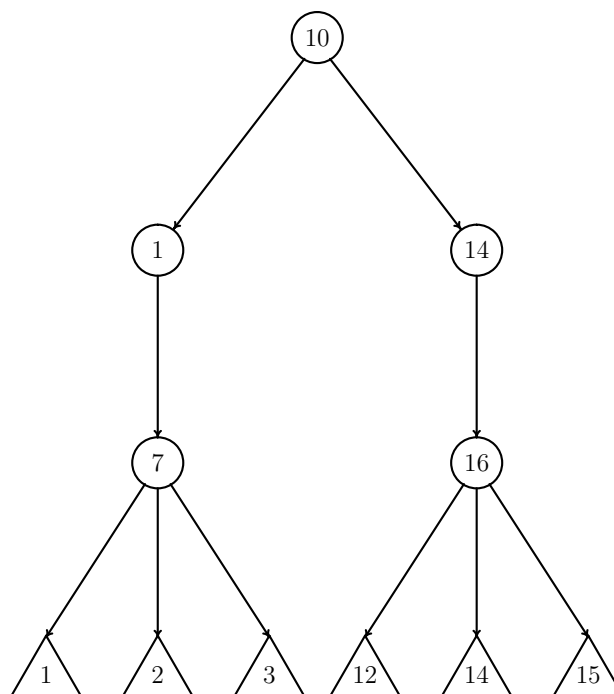
Doprovodný komentář

Vzhledem k jasné struktuře stromu na obrázku 2.5 již není uzel 10 odlišen od ostatních uzlů, jak je to na obrázku 2.4.

S ohledem na teorii rozhodování popsanou v článku 1.3 lze koncové uzly



Obrázek 2.5 Trendový strom (Vlastní zpracování)



Obrázek 2.6 Trendový strom s vyznačenými koncovými uzly (Vlastní zpracování)

znázornit pomocí trojúhelníků (viz obrázek 2.6).

(b) V této části příkladu je každému přechodu přiřazen údaj, který představuje počet změněných proměnných při přechodu z jednoho scénáře do druhého.

V následující tabulce 2.4 jsou uvedena dvě řešení (dva scénáře) z tabulky 1.9 všech řešení kvalitativního bankrotního modelu (1.35). Jak je z tabulky 2.4 vidět, každý scénář je dán třemi triplety pro proměnné Z , P a L .

Tabulka 2.4 Dvě řešení bankrotního modelu (Vlastní zpracování)

Scénář	Z	DZ	DDZ	P	DP	DDP	L	DL	DDL
1	+	+	+	+	+	+	+	-	-
7	+	+	0	+	+	+	+	-	-

Z jednotlivých sloupců tabulky 2.4 je vidět, že ke změně tripletu dochází jen v prvním sloupci, a to z tripletu $(+, +, +)$ na triplet $(+, +, 0)$. Dle prvního řádku transformační tabulky 1.10 je tato změna možná; z toho vyplývá, že při přechodu ze scénáře č. 1 do scénáře č. 2 dochází pouze ke změně objemu zásob (proměnné Z). Tomu odpovídá první řádek tabulky 2.5. Obdobně jsou určeny i zbylé řádky této tabulky. Grafické znázornění přechodového grafu obsahujícího ohodnocení jednotlivých hran je na obrázku 2.7.

Tabulka 2.5 Ohodnocení přechodů dle proměnných (Vlastní zpracování)

Z uzlu	Do uzlu	Počet měněných	Z uzlu	Do uzlu	Počet měněných
i	j	proměnných	i	j	proměnných
1	7	1	10	1	3
2	3	1	10	14	3
2	5	1	11	8	3
2	6	2	11	10	3
2	7	2	11	17	1
3	2	1	12	13	1
3	7	1	12	15	1

4	6	1	12	16	2
4	9	3	12	17	2
4	10	3	13	12	1
5	2	1	13	17	1
5	6	1	14	16	1
6	2	2	15	12	1
6	4	1	15	16	1
6	5	1	16	12	2
7	1	1	16	14	1
7	2	2	16	15	1
7	3	1	17	11	1
8	1	3	17	12	2
9	14	3	17	13	1
Z uzlu i	Do uzlu j	Počet měněných proměnných	Z uzlu i	Do uzlu j	Počet měněných proměnných

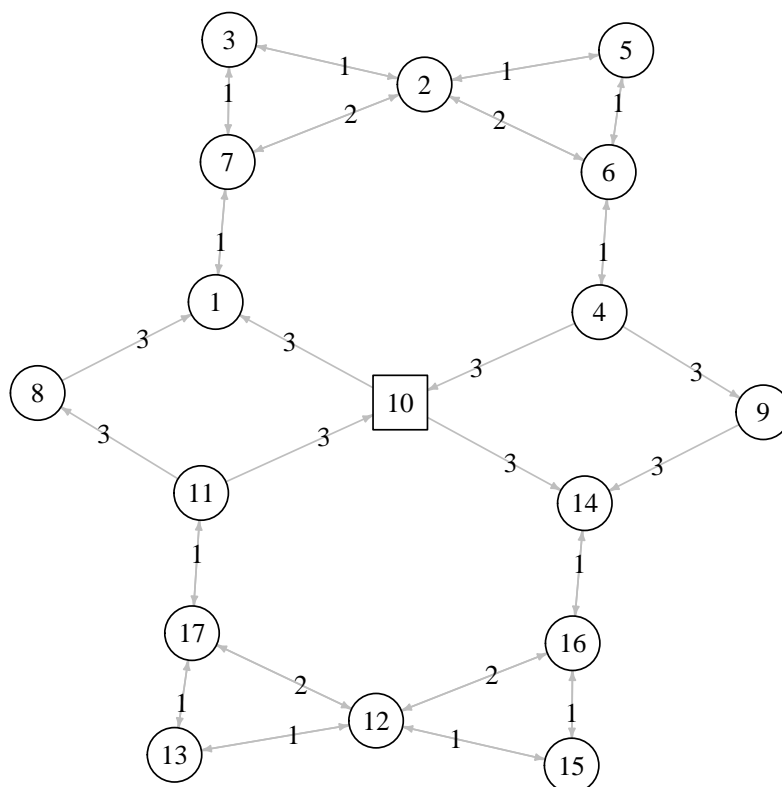
Stejně jako v předchozí části příkladu je uvažováno, že současný stav podniku je vyjádřen uzlem 10 (scénářem č. 10). Pokud bude chtít vedení společnosti zjistit, v jakém stavu se bude podnik nacházet, pokud dojde k změně tří proměnných, lze tuto informaci opět zjistit pomocí trendového stromu. Trendový strom (viz obrázek 2.8) lze určit pomocí postupu popsaného v kapitole 2.2.2. Uzel 10 je kořen, podmínkou ukončení je dosažení součtu 3 počtu měněných proměnných.

Z obrázku 2.8 je vidět, že se podnik může dostat do stavů, které jsou popsány scénáři (koncovými uzly) 1, 3, 14 a 15 (viz tabulka 1.14).

S ohledem na teorii rozhodování popsanou v kapitole 1.3 lze koncové uzly znázornit pomocí trojúhelníků (viz obrázek 2.9). ▲

2.2.3 Výhody navrhovaného postupu

Jak již bylo uvedeno na začátku této kapitoly, přechodový graf G (1.38) může obsahovat uzly, kterými lze procházet nekonečně mnohokrát. *Zave-*

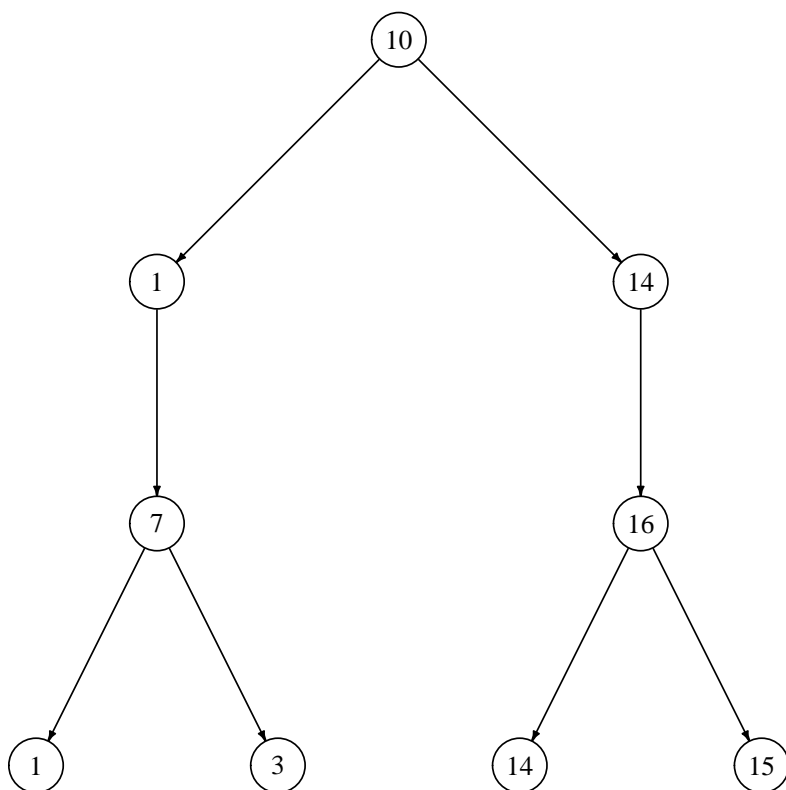


Obrázek 2.7 Přechodový graf s ohodnocením hran (Vlastní zpracování)

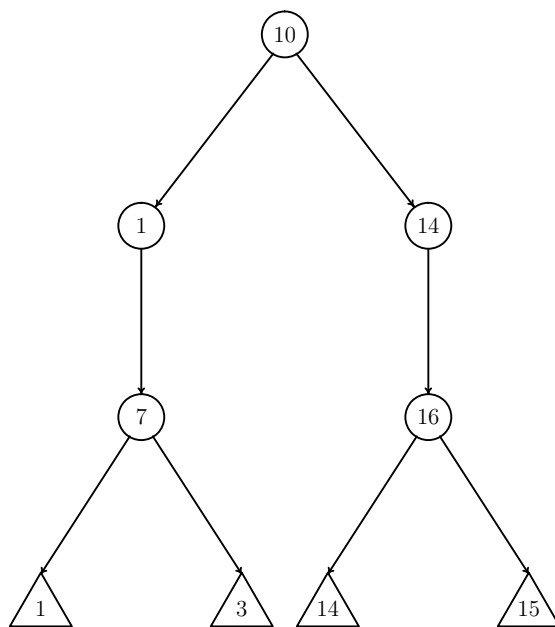
dením trendového stromu se lze tomuto problému vyhnout. Výhody tohoto trendového stromu jsou následující:

- postup je jednoduchý, transparentní a snadno pochopitelný,
- snadná řešitelnost rozsáhlých kvalitativních úloh,
- snadné začlenění dodatečných informací podle potřeb řešeného problému.

Na trendový strom může být nahlíženo jako na rozhodovací strom, a tudíž může být dále zpracován pomocí teorie rozhodování (viz článek 1.3). Rozšíření této teorie, které je popsáno v následujícím článku 2.3, umožňuje přiřadit jednotlivým uzlům trendového stromu, tj. jednotlivým řešením trendového modelu, jejich pravděpodobnosti. Znalost těchto pravděpodobností slouží k podrobnějšímu vyhodnocení řešeného problému.



Obrázek 2.8 Trendový strom (Vlastní zpracování)



Obrázek 2.9 Trendový strom s vyznačenými koncovými uzly (Vlastní zpracování)

2.3 Lineární rekonstrukce modelu pomocí trendů

V předchozí části textu je uvažována pro vektor proměnných \mathbf{X} existence trendového modelu Q , ať již se jedná o model založený na rovnicích Q_R nebo model založený na prohlášeních Q_H nebo smíšený model Q_S . Tento model je za pomoci popsaného postupu řešen a výsledkem tohoto řešení je množina M scénářů.

$$Q(\mathbf{X}) \rightarrow M(\mathbf{X}). \quad (2.2)$$

Trendové modelování však také umožňuje použití obráceného postupu. Tímto obráceným postupem je *lineární rekonstrukce pomocí trendů* (zkráceně jen *lineární rekonstrukce*). Lineární rekonstrukce je obráceným procesem trendové analýzy. Model Q_M je zrekonstruován s ohledem na daný soubor scénářů M_Q

$$M_Q(\mathbf{X}) \rightarrow Q_M(\mathbf{X}). \quad (2.3)$$

Pokud je na zrekonstruovaný model Q_M aplikován postup trendové analýzy, pak výsledná množina scénářů M_{QM}

$$Q_M(\mathbf{X}) \rightarrow M_{QM}(\mathbf{X}) \quad (2.4)$$

je nadmnožinou množiny M_Q

$$M_{QM}(\mathbf{X}) \supseteq M_Q(\mathbf{X}). \quad (2.5)$$

Doprovodný komentář

V případě nelineárního trendového modelu Q uvedený postup představuje lineární aproximaci tohoto modelu; tedy nahrazení neznámých nelineárních rovnic množinou lineárních rovnic.

Praktický komentář

Použití lineární rekonstrukce na nelineární modely je dáno praktickým hlediskem, protože obecná nelineární rekonstrukce je založena pouze na testování všech možných scénářů. Každý scénář je buď přijat nebo odmítnut. Tento přístup hrubé síly vyžaduje obrovský výpočetní čas a je jen obtížně použitelný, pokud je sledován velký počet proměnných.

Příklad 2.2. V tomto příkladu jsou uvažovány dvě proměnné X a Y . Pro zjednodušení popisu principu lineární rekonstrukce modelu nejsou první a druhé derivace uvažovány. Množina dostupných řešení M_Q je tvořena dvěma scénáři v tabulce 2.6.

Tabulka 2.6 Množina dostupných řešení M_Q (Vlastní zpracování)

Scénář	X	Y
1	-	+
2	+	-

Pro každý scénář z tabulky 2.6 lze, užitím operací kvalitativní součet a součin (viz tabulky 1.2 a 1.3), identifikovat všechny rovnice, jejichž řešením je příslušný scénář. Nalezené rovnice Q_{M1} a Q_{M2} pro oba scénáře jsou uvedeny v tabulce 2.7 a 2.8.

Tabulka 2.7 Rovnice Q_{M1}
(Vlastní zpracování)

	Rovnice
1	$(+)X + (+)Y = (0)$
2	$(+)X + (0)Y = (-)$
3	$(0)X + (+)Y = (+)$

Tabulka 2.8 Rovnice Q_{M2}
(Vlastní zpracování)

	Rovnice
1	$(+)X + (+)Y = (0)$
2	$(+)X + (0)Y = (+)$
3	$(0)X + (+)Y = (-)$

Oba scénáře (viz tabulka 2.6) mají společnou první rovnici (viz tabulky 2.7 a 2.8). Tedy rovnice $X + Y = 0$ je zrekonstruovaný lineární model Q_M . ▲

Praktický komentář

Nabízí se tu otázka, jak lze získat řešení ve tvaru scénářů, například $(+, +, +)$, $(+, -, +)$, $(+, +, 0)$ apod. Jednou z možností je *segmentace* časové řady. **Segmentace** je rozdělení časové řady na úseky, na kterých má sledovaný ukazatel monotónní trend. Tyto monotónní trendy pak lze popsat pomocí vztahů na obrázku 1.10.

Doprovodný komentář

Při znalosti časových řad dvou a více sledovaných ukazatelů lze, užitím lineární rekonstrukce modelu pomocí trendů, vyjádřit vzájemné závislosti mezi těmito ukazateli.

2.4 Nový přístup řešení rozhodovacích úloh za neurčitosti

Jak již bylo uvedeno v závěru předcházejícího oddílu, řešení reálných rozhodovacích problémů je často obtížně realizovatelné z důvodu omezení dostupných vstupních informací. V následujícím oddílu je popsán nový přístup řešení takovýchto úloh, který je založen na rozhodovacích stromech. Chybějící vstupní údaje jsou vygenerovány pomocí tvaru rozhodovacího stromu a výsledky jsou integrovány do množiny neúplných vstupních dat. Popisovaný přístup je založen na snadno pochopitelné heuristice.

2.4.1 Heuristika

Reálná rozhodování jsou často založena na heuristikách (viz [77]). Použití těchto heuristik je založen na předpokladu, že osoby s rozhodovací pravomocí jsou ochotni přijmout obecné heuristiky, které jsou založeny na zdravém rozumu. Existuje řada možných heuristik, které mohou být vzájemně protichůdné.

Příkladem takovéto dvojice vzájemně se vylučujících heuristiky je:

(H_1) Delší cesta v rozhodovacím stromu je méně pravděpodobná.

(H_2) Delší cesta v rozhodovacím stromu je více pravděpodobná.

Obě heuristiky reflektují některé vlastnosti, které jsou typické při uvažování, které se řídí zdravým rozumem. Heuristiku H_1 lze použít v teorii spolehlivosti apod. (viz [77]). Spolehlivostní výklad heuristiky H_1 je: Jednodušší systémy jsou spolehlivější.

Heuristika H_2 je obvykle mnohem konkrétnější a lze ji využít např. v oblasti poskytování úvěru:

Čím více požadavků žadatel splňuje, tím je pravděpodobnost získání úvěru vyšší.

Navrhovaný přístup v další části je založen na heuristice H_1 , nicméně, tento přístup lze jednoduše upravit pomocí heuristiky H_2 .

Navrhovaný přístup je založen na silné analogii mezi proudem vody tekoucím přes systém trubek s jedním vstupem a rozhodovacím stromem stejného tvaru. Základním předpokladem je, že každou sekundu vtéká do počátečního uzlu rozhodovacího stromu jeden litr vody; přičemž nedochází k akumulaci vody v systému (stromu). Následkem je, že každou sekundu jeden litr vody opouští strom svými koncovými uzly (viz [56]). Průtok vody všemi větvemi rozhodovacího stromu musí být v rovnováze, tedy musí být splněna *bilanční rovnice*. Příslušnou **bilanční rovnici** pro i -tý uzel s jedním vstupem (vtokem) a k výstupy (výtoky) lze vyjádřit [67]:

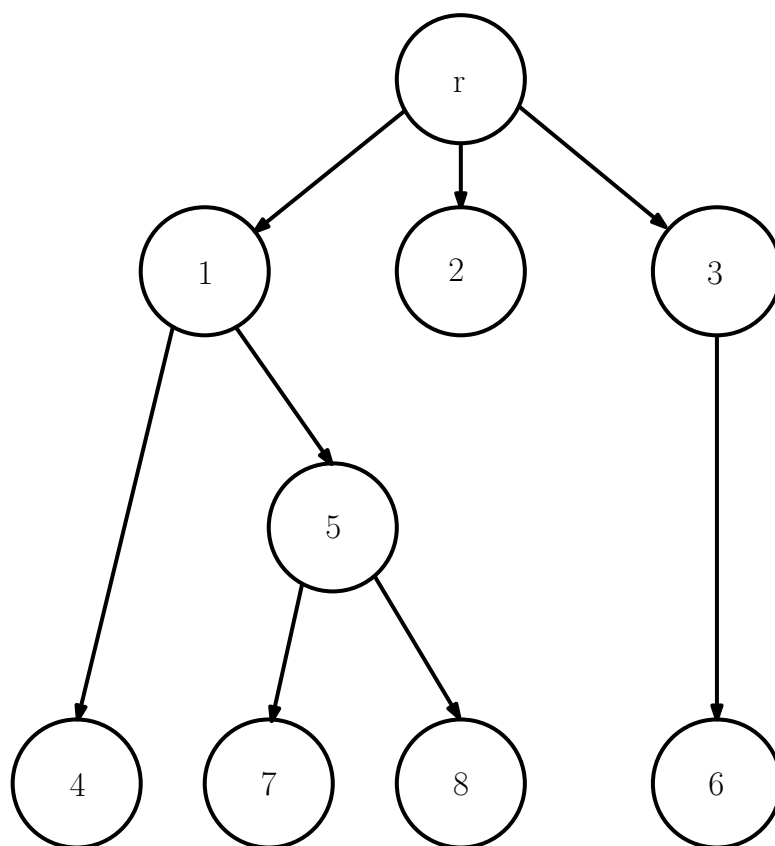
$$\text{VSTUP}_i = \sum_{j=1}^k \text{VÝSTUP}_j. \quad (2.6)$$

Například vtok do uzlu 1 odpovídá součtu toků do uzlů 4 a 5 (viz obrázek 2.10). Průtoková bilanční rovnice rozhodovacího stromu definuje lineární soustavu rovnic (viz [67]):

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{y}^T = \mathbf{B}, \quad (2.7)$$

kde \mathbf{y} je vektor toků.

Navrhovaný přístup lze využít v těch případech, kdy dostupné informace nejsou spolehlivé a přesné. Existuje vztah mezi průtokem uzlem a pravděpodobností tohoto uzlu, potom heuristiku H_1 lze přeformulovat takto:



Obrázek 2.10 Rozhodovací strom (Vlastní zpracování dle [57])

(H_3) Průtok uzlem je roven jeho pravděpodobnosti.

Následující axiomatickou definici pravděpodobnosti lze nalézt v řadě učebních textů (viz [55, 56]). Nechť A je jev a Ω je základní prostor. Pravděpodobnost $p(A)$ jevu A musí splňovat tyto tři axiomy:

$$p(A) \geq 0, \forall A \in \Omega, \quad (2.8)$$

$$p(\Omega) = 1, \quad (2.9)$$

$$p(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = \sum_{i=1}^n p(A_i). \quad (2.10)$$

Průtok uzlem splňuje axiomy 2.8–2.10.

2.4.2 Výpočet vodních pravděpodobností uzlů rozhodovacího stromu

Rozhodovací strom má jeden počáteční uzel r (viz obrázek 2.10), kde uzly reprezentují buď loterií nebo rozhodnutí (viz [57]). Pro výpočet *vodních pravděpodobností* jednotlivých uzlů jsou zavedeny následující definice.

T je množina koncových uzlů, např. uzly 4, 6, 7 a 8 (viz obrázek 2.10).

N je množina všech uzlů.

$s_{i,j}$ je počet hran podstromu, kde i je počáteční uzel podstromu a j je uzel následující, např. $s_{1,5} = 3$; jedná se o hrany 1-5, 5-7 a 5-8.

S_i je počet všech hran podstromu, kde i -tý uzel je počáteční uzel tohoto podstromu (odpor vody v i -tého uzlu).

$$S_i = \sum_j s_{i,j}, \text{ např. } S_1 = s_{1,4} + s_{1,5} = 1 + 3 = 4, \quad (2.11)$$

kde j představuje nejbližší uzel po proudu, kde i je počáteční uzel podstromu.

$$s_{i,j}^* = S_i - s_{i,j}, \forall i, j \in N \setminus T; \text{ např. } s_{1,5}^* = S_1 - s_{1,5} = 4 - 3. \quad (2.12)$$

S_i^* je počet hran i -tého podstromu:

$$S_i^* = \sum_j s_{i,j}^*, \text{ např. } S_1^* = s_{1,4}^* + s_{1,5}^* = 4, \quad (2.13)$$

kde j představuje nejbližší uzel po proudu, kde i je počáteční uzel podstromu.

Každému uzlu mohou být přiřazeny dělicí poměry (viz [78]). Navrhovaný přístup je založen na následující definici dělicího poměru (viz [57]). Dělicí poměr z i -tého uzlu do j -tého uzlu je

$$\alpha_{i,j} = \frac{s_{i,j}^*}{S_i^*}, \forall j \in N \setminus T; \text{ např. } \alpha_{1,5} = \frac{s_{1,5}^*}{S_1^*} = \frac{1}{4}. \quad (2.14)$$

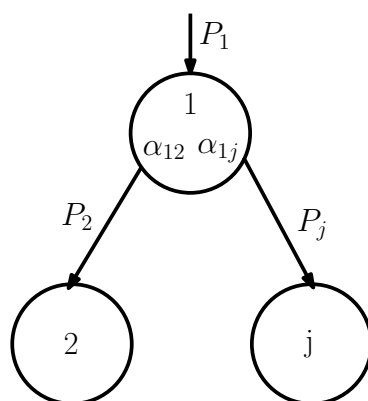
p_j je průtok j -tým uzlem, dle heuristiky H_3 jde o pravděpodobnost j -tého uzlu. Hodnota P_r počátečního uzlu (viz obrázek 2.10) je vždy rovna jedné.

$$P_r = 1. \quad (2.15)$$

Vodní pravděpodobnost všech uzlů kromě počátečního uzlu lze určit následovně (viz obrázek 2.11)

$$P_j = P_i \cdot \alpha_{i,j}, j \in N \setminus \{r\}, \quad (2.16)$$

kde i představuje nejbližší uzel po proudu. Rovnice (2.16), je založena na bilanční rovnici (2.6).



Obrázek 2.11 Průtok j -tým uzlem (Vlastní zpracování dle [57])

Množina $|N| - |T|$ lineárních rovnic (2.16) (množina bilančních rovnic), kde \mathbf{P} je vektor neznámých proměnných a dělicí poměry α (2.14) jsou číselné konstanty, je snadno řešitelná.

Příklad 2.3. Pro strom na obrázku 2.10 může být pro vyhodnocení odporů S (2.11) použita heuristika H_3 :

i -tý uzel	$s_{i,j}$	S_i
r	$s_{r,1} = 5, s_{r,2} = 1, s_{r,3} = 2$	8
1	$s_{1,4} = 1, s_{1,5} = 3$	4
2		-
3	$s_{3,6} = 1$	1
4		-
5	$s_{5,7} = 1, s_{5,8} = 1$	2
6		-
7		-
8		-

kde symbol - v třetím sloupci znamená, že příslušný uzel je koncovým uzlem.

Dělení poměry (2.14) pak jsou:

$$\begin{aligned}
 \alpha_{r,1} &= 3/16 \doteq 0,186, \\
 \alpha_{r,2} &= 7/16 \doteq 0,438, \\
 \alpha_{r,3} &= 6/16 \doteq 0,375, \\
 \alpha_{r,1} + \alpha_{r,2} + \alpha_{r,3} &= 1, \\
 \alpha_{1,4} &= 3/4 = 0,750, \\
 \alpha_{1,5} &= 1/4 = 0,250, \\
 \alpha_{1,4} + \alpha_{1,5} &= 1, \\
 \alpha_{3,6} &= 1, \\
 \alpha_{5,7} &= 1/2 = 0,500, \\
 \alpha_{5,8} &= 1/2 = 0,500, \\
 \alpha_{5,7} + \alpha_{5,8} &= 1.
 \end{aligned} \tag{2.17}$$

Soustava lineárních rovnic (2.16) s dělicími poměry (2.17), je následující (viz obrázek 2.10):

$$\begin{aligned}
 1 &= P_r \\
 0,187 \cdot P_r &= P_1, \\
 0,438 \cdot P_r &= P_2, \\
 0,375 \cdot P_r &= P_3, \\
 0,750 \cdot P_1 &= P_4, \\
 0,250 \cdot P_1 &= P_5, \\
 1 \cdot P_3 &= P_6, \\
 0,500 \cdot P_5 &= P_7, \\
 0,500 \cdot P_5 &= P_8.
 \end{aligned} \tag{2.18}$$

Řešením soustavy rovnic (2.18) jsou vypočteny následující vodní pravděpodobnosti: $P_r = 1,000$, $P_1 = 0,187$, $P_2 = 0,438$, $P_3 = 0,375$, $P_4 = 0,140$, $P_5 = 0,047$, $P_6 = 0,375$, $P_7 = 0,024$ a $P_8 = 0,024$.

▲

2.4.3 Částečná nevědomost

Typickým znakem všech realistických rozhodovacích problémů je nedostatek vstupních informací. Pokud nejsou známy žádné vstupní informace, je rozhodovací problém řešen za celkové nevědomosti. Nicméně, je potřebné poznamenat, že ve většině rozhodovacích úloh je alespoň část vstupních informací známa, tedy rozhodovací problém je řešen za částečné nevědomosti. Koncept celkové nevědomosti, který je reprezentován heuristikou H_1 , umožňuje začlenit množinu dodatečných informací v obecném rámci heuristiky H_3 .

Množina dodatečných informací může být pro některé uzly vyjádřena dodatečnou množinou pravděpodobností (viz [57]):

$$\mathbf{R} \equiv (R_1, R_2, \dots, R_h), \quad (2.19)$$

Tato množina má h prvků, $h \leq N$. Například pravděpodobnost uzlu 2 (viz obrázek 2.10) může být vyjádřena slovním hodnotou „malá“, např.

$$R_2 = \text{malá}. \quad (2.20)$$

Dodatečné hodnoty (2.19), (2.20) jsou začleněny do výsledků heuristiky H_3 pomocí kompromisního přístupu. Prvním krokem tohoto přístupu je dokázat, že kompromis je nevyhnutelný. Pokud je dodatečná množina informací \mathbf{R} (2.19) ignorována, tj. problém je řešen za celkové nevědomosti a jsou určeny příslušné pravděpodobnosti \mathbf{P}_{TI} . To znamená, že je řešena množina lineárních rovnic (2.16) a množina \mathbf{P}_{TI} je kvantifikována, např. (2.18). Pokud tedy je

$$\mathbf{P}_{TI} \text{ dostatečně rovno } \mathbf{R}, \quad (2.21)$$

pak usmíření není nutné.

Koncept *dostatečně rovno* může být založen na teorii fuzzy množin, hrubých množin apod. (viz [78]).

2.4.4 Fuzzy kompromis rozhodovacích úloh

Existují různé typy kompromisů (viz [79]). Myšlenka kompromisu je v této práci chápána jako měření nebo odhadování množství například

pravděpodobností, za účelem vyrovnání toků v daném rozhodovacím stromu. Vektor toků \mathbf{y} lze rozdělit do dvou vektorů \mathbf{x} a \mathbf{u} , kde \mathbf{x} známé pravděpodobnostmi a \mathbf{u} zcela neznámé pravděpodobnosti (viz [67]). Vektor \mathbf{x}^* označuje dodatečné pravděpodobnosti. Obecně platí, že soustava $\mathbf{A}(\mathbf{x}\mathbf{u})^T = \mathbf{B}$ nemá žádné řešení. Řešením tohoto problému je měnit \mathbf{x} tak, aby bylo co nejbližší \mathbf{x}^* , a byla splněna bilanční rovnice (2.7), kde $\mathbf{y} = (\mathbf{x}\mathbf{u})$ (viz [67, 79]).

Tradiční kompromisní přístupy, mezi něž lze počítat i metodu nejmenších čtverců, pracují s množinou naměřených dat. Chyby měření se řídí normálním rozdělením s nulovou střední hodnotou (viz [67]). Přesnost měření \mathbf{x}_i^* je pak charakterizována směrodatnou odchylkou σ_i . Optimalizace s lineárním omezením je v případě kompromisního přístupu problémová. K řešení tohoto problému lze použít přístup vážených nejmenších čtverců (viz [80]). Hlavním omezením tohoto přístupu je splnění Gaussovy hypotézy (náhodná proměnná musí být neomezená); další omezení jsou uvedeny v [67].

Fuzzy kompromis (viz [57]) je přístup založený na odhadovaném množství (v této práci pravděpodobnostech). Fuzzy kompromis poskytuje pouze intervaly místo přesných hodnot. Více či méně možné hodnoty každé pravděpodobnosti jsou dány, respektive omezeny intervalem, a proto je u bilanční rovnice (2.7) uváděna míra jejího splnění; tedy do jaké míry je bilanční rovnice splněna.

Problém hledání možného řešení je založen na hledání optimální pozice v rámci všech (fuzzy) intervalů možných hodnot (viz [67]). Tento optimalizační problém může být řešen pomocí max-min metody, metody α -řezů apod. (viz [81]). Hlavním omezením těchto metod je neschopnost detekovat, do jaké míry je bilanční rovnice splněna.

Kompromisní přístup v této práci je založen na metodě Fuzzy lineárního programování (viz [82]) která poskytuje možnost detekovat míra splnění bilanční rovnice. Jejím výsledkem je *optimální kompromis*:

Vodní pravděpodobnosti (2.16) kontra dodatečné pravděpodobnosti (2.19).

Matematické aspekty kompromisu jsou velmi důležité. Fuzzy kompromis představuje řešení přeúčtené soustavy rovnic :

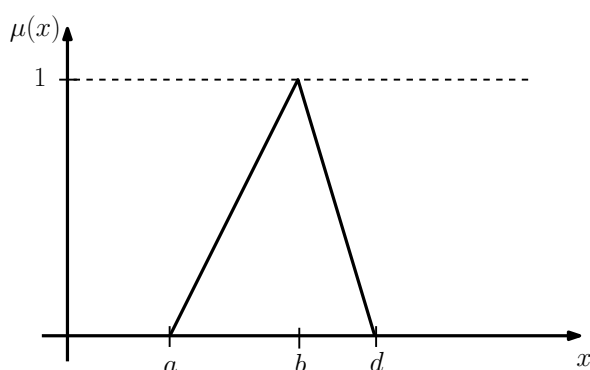
$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{P} = \mathbf{B} \wedge \mathbf{P} = \mathbf{R}, \quad (2.22)$$

kde \mathbf{A} je matice dělících poměrů (2.14) a rovnice $\mathbf{A} \cdot \mathbf{P} = \mathbf{B}$ jsou dány (2.16), $\mathbf{P} = \mathbf{R}$ je množina dodatečných pravděpodobností.

Soustava rovnic (2.22) obsahuje $n + h$ rovnic a n proměnných P . Kompromisní úlohu pak lze řešit pomocí fuzzy lineárního programování (viz [82]).

Rovnice v soustavě (2.22) jsou různě důležité, respektive spolehlivé, a proto jejich porušení má jiný vliv na rozhodování; například některé rovnice nemohou být porušeny vůbec.

V této práci je fuzzy množina R_i charakterizována trojúhelníkovou funkcí příslušnosti (viz [57]) (viz obrázek 2.12).



Obrázek 2.12 Trojúhelníková funkce příslušnosti (Vlastní zpracování)

Trojúhelníkovou funkci příslušnosti lze vyjádřit trojicí (a, b, d) , kde

$$a < b < d. \quad (2.23)$$

Pak dodatečné pravděpodobnosti (2.19) mohou být zapsány následovně

$$P_i = R_i = (a, b, d). \quad (2.24)$$

Zavedením dvou vektorů \mathbf{S}_u a \mathbf{S}_l pomocných proměnných lze každou i -tou

rovnici (2.24) zapsat pomocí čtyř lineárních nerovností (viz [81]).

$$\sum_{i=1}^h (\alpha_{i,j} \cdot P_i) + S_{u_j} \geq b_j, \quad (2.25)$$

$$\sum_{i=1}^h (\alpha_{i,j} \cdot P_i) - S_{l_j} \leq b_j, \quad (2.26)$$

$$0 \leq S_{u_j} \leq b_j - a_j, \quad (2.27)$$

$$0 \leq S_{l_j} \leq d_j - b_j, \quad (2.28)$$

kde a_j, b_j, d_j jsou prvky tripletu (2.23),

S_{u_j} je j -tá horní pomocná proměnná,

S_{l_j} je j -tá dolní pomocná proměnná.

Soustava nerovností (2.25)–(2.28) představuje fuzzy přepis j -té lineární rovnice (2.16).

Celková nevědomost může generovat poměrně zavádějící výsledky rozhodování. Proto je vysoce žádoucí, problém přeuročit pomocí dodatečných informací (viz [83]), respektive pravděpodobností (2.19).

Míru usmíření lze určit pomocí účelové funkce

$$Q = \min_{S_u S_l} \left(\sum_{j=1}^m \left(\frac{S_{u_j}}{b_j - a_j} + \frac{S_{l_j}}{d_j - b_j} \right) \right). \quad (2.29)$$

Minimalizační problém (2.29) lze řešit jako standardní úlohu lineárního programování [82].

Například pravděpodobnost uzlu 2 z obrázku 2.10 je definována jako „malá“ (2.20). Tato slovní hodnota „malá“ může být vyjádřena pomocí fuzzy množiny. Lze použít triplet trojúhelníkové funkce příslušnosti (viz obrázek 2.12)

$$a = 0,1; b = 0,2; d = 0,25. \quad (2.30)$$

Pravděpodobnost uzlu 2 lze vyjádřit rovnicí $R_2 = (0,1; 0,2; 0,25)$. Tato rovnice může být transformována pomocí (2.25)–(2.28) do následujících čtyř

lineárních nerovnic.

$$0,1 \cdot P_2 + S_u \geq 0,2, \quad (2.31)$$

$$0,1 \cdot P_2 - S_l \leq 0,2, \quad (2.32)$$

$$0 \leq S_u \leq 0,1, \quad (2.33)$$

$$0 \leq S_l \leq 0,05. \quad (2.34)$$

Nerovnosti (2.31)–(2.34) jsou přidány k bilančním rovnicím (2.16). Účelová funkce (2.29) je pak zapsána

$$Q = \min_{S_u, S_l} \left(\frac{S_u}{0,1} + \frac{S_l}{0,05} \right). \quad (2.35)$$

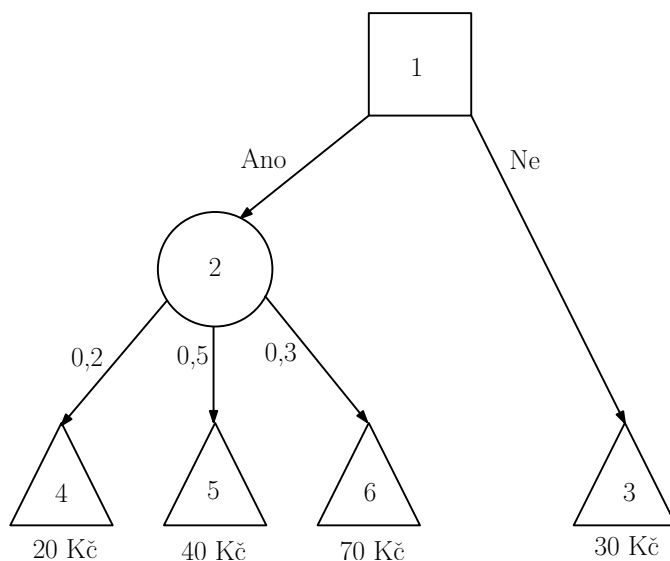
Pro řešení soustavy rovnic (2.31)–(2.34) a bilančních rovnic (2.16) s účelovou funkcí (2.35) lze využít dostupných programových prostředků, například Matlab, Scilab, GAMS (viz [84]).

2.4.5 Vyhodnocení rozhodovacího stromu

Výsledkem přístupu, který je popsán v předcházejícím oddílu, je určení pravděpodobností jednotlivých uzlů, případně možných situací (hrany vystupující ze situačních uzlů) rozhodovacího stromu. Následující oddíl popisuje přístup vyhodnocení takového rozhodovacího stromu, kde některá ohodnocení, např. pravděpodobnosti jednotlivých situací, zisky v koncových uzlech apod., jsou brány jako expertní odhady, tj. jsou zadány intervalem přípustných hodnot. Protože práce s intervaly (intervalová algebra) je v případě rozsáhlých stromů obtížná, lze využít některou ze simulačních metod, jako je metoda Monte Carlo.

Pro zopakování, rozhodovací strom se skládá z uzlů a hran. V rámci rozhodovacích stromů se rozlišují tři typy uzlů: rozhodovací, loterie, koncový (viz obrázek 2.13). Rozhodovací uzel je graficky znázorněn čtvercem, loterie je graficky znázorněna kruhem a koncový uzel je graficky znázorněn trojúhelníkem (viz [56]).

J je množina všech rozhodovacích uzlů, například uzel 1 na obrázku 2.13.



Obrázek 2.13 Rozhodovací strom (Vlastní zpracování)

I je množina všech loterií, například uzel 2 na obrázku 2.13.

S_i pro $i \in I$ je množina všech situací i -té loterie

$$S_i = \{s_{i,k}; k = 1, 2, \dots, K\}, \quad (2.36)$$

kde K je počet všech hran (situací) i -té loterie; $S_2 = \{s_{2,k}; k = 1, 2, 3\}$ (hrany $2 \rightarrow 4$, $2 \rightarrow 5$ a $2 \rightarrow 6$).

Pravděpodobnosti situací (2.36) i -té loterie tvoří sloupcový vektor

$$\mathbf{p}(S_i) = [p(s_{i,1}), p(s_{i,2}), \dots, p(s_{i,k}),]^T, k = 1, 2, \dots, K; i \in I; \quad (2.37)$$

$\mathbf{p}(S_2) = [0,2; 0,5; 0,3]^T$ (viz obrázek 2.13).

Ohodnocení všech situací i -té loterie pro j -tý rozhodovací uzel je vektor

$$\mathbf{x}(S_i) = [x(s_{i,1}, j), x(s_{i,2}, j), \dots, x(s_{i,k}, j),], k = 1, 2, \dots, K; i \in I \text{ a } j \in J; \quad (2.38)$$

$\mathbf{x}(S_2, 1) = [20, 40, 70]$, viz obrázek 2.13.

Na základě pravděpodobností (2.37) a ohodnocení hran (2.38) i -té loterie je určena očekávaná hodnota náhodné veličiny Z (střední hodnota náhodné veličiny Z). Touto náhodnou veličinou může být zisk nebo náklady. Užitím vztahů (2.36) - (2.38) lze vztah (1.40) upravit na tvar

$$E(Z|j, i) = \mathbf{x}(S)_i(j) \cdot \mathbf{p}(S)_i; \quad (2.39)$$

$$E(Z|1, 2) = [20, 40, 70] \cdot [0,2; 0,5; 0,3]^T = 20 \cdot 0,2 + 40 \cdot 0,5 + 70 \cdot 0,3 = 45.$$

Očekávaná hodnota (2.39), je porovnána s ohodnocením hrany bez loterie, které lze označit x_t pro $t \in T$. Pro příklad z obrázku 2.13 je očekávaná hodnota zisku $E(Z|1, 2) = 45$ Kč je větší než $x_3 = 30$ Kč; podle pravidlo maximalizace zisku (viz [85]) je závěrečné rozhodnutí Ano.

Pravděpodobnosti (2.37) a ohodnocení (2.38) lze zadat jako expertní odhady, tedy lze je zadat rozsahem přípustných hodnot. Například pravděpodobnost lze zadat jako 0,15–0,25, zisk 30–45 Kč. Za předpokladu, kdy pravděpodobnost, případně zisk je náhodnou veličinou, označenou V , pak lze rozsah přípustných hodnot vyjádřit následujícím intervalem

$$V \in \langle V_L, V_U \rangle. \quad (2.40)$$

V těchto případech je určení očekávané hodnoty (2.39) poměrně obtížné, a proto jsou používány simulační metody, jako je metoda Monte Carlo. Princip metody Monte Carlo je takový, že z intervalu (2.40) je náhodně generována hodnota a tato hodnota vstupuje do vztahu (2.39).

2.4.6 Výhody navrhovaného přístupu

Výhody navrhovaného přístupu jsou následující:

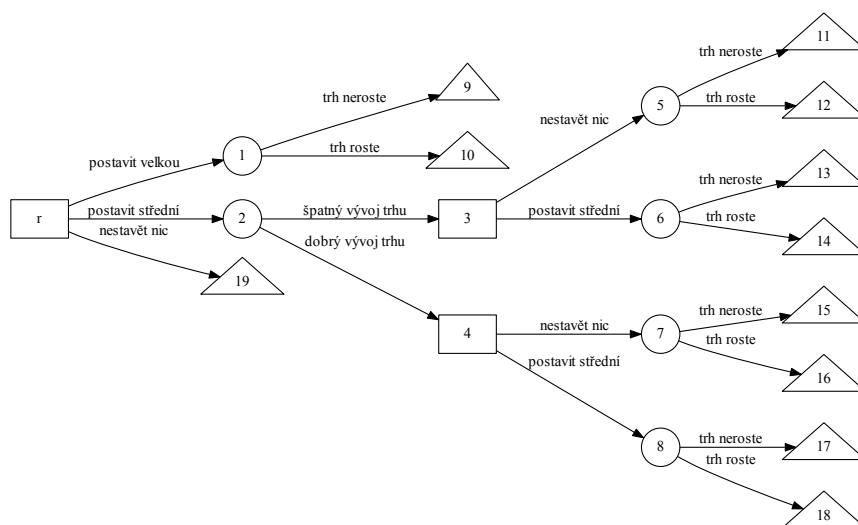
- přístup je jednoduchý, transparentní a snadno pochopitelný,
- navrhovanou heuristiku lze snadno upravit podle potřeb řešeného problému,
- snadná řešitelnost složitých rozhodovacích stromů,
- snadné začlenění dalších podmínek.

2.5 Praktické využití navrhovaného přístupu

V následujícím oddílu je ukázáno užití výše popsaného přístupu na reálné rozhodovací úloze za neurčitosti. Úloha se týká rozhodování vedení společnosti o stavbě další továrny.

2.5.1 Rozhodování o stavbě další továrny

Prvním praktickým příkladem je rozhodování vedení farmaceutické společnosti o stavbě další výrobní továrny. Potřebné informace jsou čerpány z [56, s. 108–109]. Cílem vedení společnosti je maximalizovat zisk. Tento rozhodovací problém je znázorněn pomocí rozhodovacího stromu, který je graficky znázorněn na obrázku 2.14.



Obrázek 2.14 Rozhodovací strom (Vlastní zpracování dle [56])

Z obrázku 2.14 je patrné, že rozhodovací strom se skládá z dvaceti uzlů a devatenácti hran. Mezi všemi uzly jsou tři rozhodovací uzly, šest situačních uzlů (loterií) a jedenáct koncových uzlů (terminálů). Význam jednotlivých uzlů je uveden v následující tabulce.

Tabulka 2.9 Význam jednotlivých uzlů (Vlastní zpracování)

Uzel	Význam uzlu
$r, 3, 4$	Stavět další továrnu?
1, 5, 6, 7, 8	Chování trhu
2	Vývoj trhu
9–19	Možný zisk [mil. Kč]

Význam jednotlivých hran vycházejících z jednotlivých uzlů, s výjimkou

koncových uzlů, je uveden v tabulce 2.10.

Tabulka 2.10 Význam jednotlivých hran (Vlastní zpracování)

Z uzlu	Do uzlu	Význam hrany
r	1	Postavit velkou továrnu
r	2	Postavit středně velkou továrnu
r	19	Nestavět továrnu
1	9	Trh neroste
1	10	Trh roste
2	3	Trh se pro firmu vyvíjí špatně
2	4	Trh se pro firmu vyvíjí dobře
3	5	Nestavět továrnu
3	6	Postavit středně velkou továrnu
4	7	Nestavět továrnu
4	8	Postavit středně velkou továrnu
5	11	Trh neroste
5	12	Trh roste
6	13	Trh neroste
6	14	Trh roste
7	15	Trh neroste
7	16	Trh roste
8	17	Trh neroste
5	18	Trh roste

Hodnoty možných zisků (v mil. Kč) pro jednotlivé koncové uzly jsou uvedeny v následující tabulce. Tyto hodnoty mohou být získány na základě průzkumu, historických dat apod.

Tabulka 2.11 Hodnoty zisku (Vlastní zpracování dle [57])

Uzel	Pst.	Zisk (mil. Kč)	Uzel	Pst.	Zisk (mil. Kč)
1	-	-	11	-	-30
2	-	-	12	-	10
3	-	-	13	-	-70
4	-	-	14	-	-10
5	-	-	15	-	30
6	-	-	16	-	70
7	-	-	17	-	80
8	-	-	18	-	120
9	-	20	19	-	0
10	-	100			

Praktický komentář

Zkratka Pst. značí pravděpodobnost. Na začátku problému (viz tabulka 2.11) nejsou známy.

Z obrázku č. 2.14 a tabulek č. 2.9–2.11 je patrné, že topologie rozhodovacího stromu a hodnoty zisků jsou jediné známé informace. Vyhodnocení rozhodovacího stromu, tj. volba vhodného rozhodnutí, je pomocí klasických přístupů popsaných v článku 1.3 velmi obtížné; je tedy vhodné využití přístupu popsaného v článku 2.4.

2.5.2 Řešení rozhodovacího problému za celkové nevědomosti

Pro vyhodnocení rozhodovacího stromu (viz obrázek 2.14) je nutné určit pravděpodobnosti jednotlivých uzlů. Pro určení těchto pravděpodobností jsou vypočteny dělicí poměry (2.14) na jednotlivých uzlech užitím výše popsané heuristiky (vztahy (2.11)–(2.13)). Vypočtené dělicí poměry jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 2.12 Dělicí poměry uzlů (Vlastní zpracování dle [57])

Uzel	Dělicí poměr	Uzel	Dělicí poměr
r	$\alpha_{r,1} = 0,4211$ $\alpha_{r,2} = 0,1052$ $\alpha_{r,19} = 0,4736$	5	$\alpha_{5,11} = 0,5$ $\alpha_{5,12} = 0,5$
1	$\alpha_{1,9} = 0,5$ $\alpha_{1,10} = 0,5$	6	$\alpha_{6,13} = 0,5$ $\alpha_{6,14} = 0,5$
2	$\alpha_{2,3} = 0,5$ $\alpha_{2,4} = 0,5$	7	$\alpha_{7,15} = 0,5$ $\alpha_{7,16} = 0,5$
3	$\alpha_{3,5} = 0,5$ $\alpha_{3,6} = 0,5$	8	$\alpha_{8,17} = 0,5$ $\alpha_{8,18} = 0,5$
4	$\alpha_{4,7} = 0,5$ $\alpha_{4,8} = 0,5$		

Na základě vypočtených dělicích poměrů (viz tabulka 2.12) lze sestavit soustavu bilančních rovnic (2.16), jejímž řešením lze vypočíst vodní pravděpodobnosti jednotlivých uzlů.

Tabulka 2.13 Pravděpodobnosti uzlů (Vlastní zpracování dle [57])

Uzel	Pst.	Uzel	Pst.
r	1	10	0,2106
1	0,4211	11	0,01315
2	0,1052	12	0,01315
3	0,0526	13	0,01315
4	0,0526	14	0,01315
5	0,0263	15	0,01315
6	0,0263	16	0,01315
7	0,0263	17	0,01315
8	0,0263	18	0,01315
9	0,2106	19	0,4736

2.5.3 Řešení rozhodovacího problému za částečné nevědomosti

Problém částečné nevědomosti si lze představit tak, že jako vstupní informace je k dispozici tvar rozhodovacího stromu (viz obrázek 2.14) a jedna dodatečná pravděpodobnost \mathbf{R} (2.19). Tedy vedení společnosti má k dispozici rozhodovací strom a představu o možném vývoji trhu; v tomto případě o dobrém vývoji trhu. V následující tabulce (viz tabulka 2.14) jsou uvedeny tři možné varianty pravděpodobnosti dobrého vývoje trhu.

Tabulka 2.14 Dodatečné pravděpodobnosti pro uzel 4 (Vlastní zpracování dle [57])

Varianta	a	b	d
I	0,05	0,07	0,08
II	0,04	0,09	0,10
III	0,11	0,16	0,17

Jak již bylo zmíněno výše, rozhodovací strom se skládá z dvaceti uzlů (viz obrázek 2.14). Každému uzlu odpovídá jedna pravděpodobnost, tedy v rámci popisovaného rozhodovacího problému se pracuje s dvaceti pravděpodobnostmi (P_r – P_{19}). Pomocí těchto pravděpodobností lze sestavit

soustava dvaceti lineárních rovnic (2.16). K dispozici je navíc dodatečná informace k jedné pravděpodobnosti, protože i této dodatečné informaci odpovídá jedna lineární rovnice $P_4 = R_4 = (0,05; 0,07; 0,08)$ (viz I. varianta v tabulce 2.14), soustava lineárních rovnic se skládá z dvaceti jedna rovnic. Protože však dodatečná rovnice vychází ze zadané fuzzy pravděpodobnosti, je nutné tuto rovnici rozepsat podle vztahů (2.25)–(2.28) následovně

$$P_4 + S_{u1} \geq 0,07 \quad (2.41)$$

$$P_4 - S_{l1} \leq 0,07 \quad (2.42)$$

$$0 \leq S_{u1} \leq 0,02 \quad (2.43)$$

$$0 \leq S_{l1} \leq 0,01 \quad (2.44)$$

Lineární nerovnosti (2.41)–(2.44) jsou přidány k soustavě dvaceti lineárních rovnic (2.16). Celkově je tedy soustava lineárních rovnic složena z dvaceti čtyř rovnic. Protože je k dispozici dvacet proměnných a počet rovnic soustavy je dvacet čtyři, jedná se o přeúčtenou soustavu, kterou lze řešit zavedením účelové funkce (2.29) pomocí lineárního programování. Výsledné pravděpodobnosti jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 2.15 Výsledné pravděpodobnosti (Vlastní zpracování dle [57])

Uzel	Pst. (I)	Pst. (II)	Pst. (III)
r	1	1	-
1	0,4211	0,4211	-
2	0,1052	0,1052	-
3	0,0352	0,05	-
4	0,07	0,055	-
5	0,0176	0,025	-
6	0,0176	0,025	-
7	0,035	0,0276	-
8	0,035	0,0276	-
9	0,2106	0,2106	-
10	0,2106	0,2106	-

11	0,0088	0,0125	-
12	0,0088	0,0125	-
13	0,0088	0,0125	-
14	0,0088	0,0125	-
15	0,0175	0,0138	-
16	0,0175	0,0138	-
17	0,0175	0,0138	-
18	0,0175	0,0138	-
19	0,4736	0,4736	-
Uzel	Pst. (I)	Pst. (II)	Pst. (III)

Bližší informace o výpočtu jsou uvedeny v následující tabulce (viz tabulka 2.16). Z tabulky je vidět, že pro první variantu (viz tabulka 2.14) jsou hod-

Tabulka 2.16 Detaily řešení (Vlastní zpracování dle [57])

Varianta	S_u	S_l	Hodnota funkce příslušnosti	Hodnota účelové funkce Q (2.29)
I	0,000	0,00	1,00	0,00
II	0,035	0,00	0,30	0,70
III	Soustava nemá řešení			

noty proměnných S_u a S_l rovny nule, což znamená, že lineární nerovnosti (2.41)–(2.44) jsou zcela splněny. Pro druhou variantu odpovídající nerovnosti (2.25)–(2.28) nejsou zcela splněny, což znamená, že dochází ke *kompromisnímu řešení* (hodnota 0,7 v tabulce 2.16). Pro třetí variantu (viz tabulka 2.14) nemá soustava rovnic řešení.

2.5.4 Vyhodnocení rozhodovacího stromu

Na základě zjištěných dělicích poměrů α (viz tabulka 2.12) a pravděpodobností P (viz tabulka 2.15) je provedeno vyhodnocení rozhodovacího stromu.

Pro první variantu dodatečné pravděpodobnosti (viz tabulka 2.14) vychází střední hodnota zisku 63,15 mil. Kč. Vedení společnosti by v prvním kroku

mělo rozhodnout o stavbě středně velké továrny. Jestliže se bude pro společnost trh vyvíjet dobře, mělo by vedení rozhodnout o stavbě další středně velké továrny. Pokud by se pro společnost trh nevyvíjel dobře nemělo by se již nic stavět.

Pro druhou variantu dodatečné pravděpodobnosti (viz tabulka 2.14) vychází střední hodnota zisku 60 mil. Kč. Vedení společnosti by se tedy mělo rozhodnout pro stavbu velké továrny.

KAPITOLA 3

Užití nových formálních nástrojů při modelování vlivu fám v ekonomických rozhodovacích problémech

☞ EKONOMICKÁ MOTIVACE

Jak již bylo uvedeno na začátku předchozí kapitoly, vedení společnosti může stát při svém rozhodování před řadou otázek, například: Má smysl investovat do nového produktu, o kterém jsou na trhu šířeny fámy? Jaký bude dopad šíření fám na prvotní veřejnou nabídku akcií společnosti? Na tyto otázky lze odpovědět užitím navrhovaných nových formálních nástrojů pro práci s velmi neurčitými informacemi.

V této kapitole je ukázáno použití trendového modelování. V první části této kapitoly je ukázáno řešení základního modelu (1.1), popsáno v článku 1.1.2. V druhé části kapitoly je tento model rozšířen o další sledovanou proměnnou a tento model šíření fám je začleněn do vybraných úloh z ekonomie.

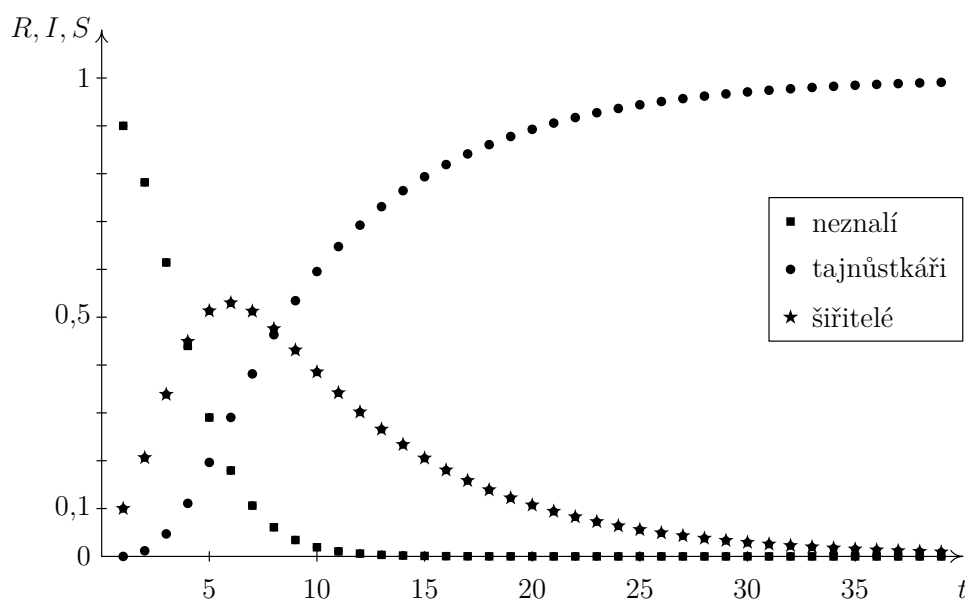
3.1 Řešení základního modelu šíření fám

Jak již bylo uvedeno v článku 1.1.3, řešení modelu (1.1) numericky lze jen při znalosti koeficientů α a β . Ukázkové numerické řešení modelu (1.1) pro $\alpha = 0,5$, $\beta = 0,5$ a počáteční podmínku ($S = 0,1$; $I = 0,9$; $R = 0$) je zobrazeno na obrázku 3.1.

Praktický komentář

Numerické řešení bylo vypočteno pomocí tabulkového procesoru užitím diferenciálu.

Z obrázku je patrné, že malé počáteční množství šířitelů vede ke stavu s většinou tajnůstkářů.



Obrázek 3.1 Numerické řešení modelu (1.1) (Vlastní zpracování)

Pokud však není k dispozici dostatek vstupních informací (dat) lze tento model řešit pomocí trendového modelování. Při této metodě se pracuje pouze se znaménky koeficientů soustavy (1.1). Dle vztahů (1.10) a (1.6) lze přepsat soustavu (1.1) na tvar

$$\begin{aligned}
 DI &= (-)I, \\
 DS &= (+)IS + (-)S(S + R), \\
 DR &= (+)S(S + R).
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Zjednodušeně lze soustavu (3.1) zapsat ve tvaru

$$\begin{aligned}
 DI &= -I, \\
 DS &= IS - S(S + R), \\
 DR &= S(S + R).
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

3.1.1 Řešení modelu při uvažování druhých derivací

Řešením soustavy (3.2) je množina scénářů M_R (viz tabulka 3.1), které splňují všechny tři rovnice této soustavy.

Praktický komentář

Pro praktické výpočty je vhodné přepsat soustavu (3.2) na tvar

$$\begin{aligned} DI + I &= 0, \\ DS + S(S + R) &= IS, \\ DR &= S(S + R). \end{aligned} \tag{3.3}$$

Tabulka 3.1 Řešení modelu (3.2) (Vlastní zpracování)

Scénář	I	DI	DDI	R	DR	DDR	S	DS	DDS
1	+	−	+	+	+	+	+	0	−
2	+	−	+	+	+	+	+	+	−
3	+	−	+	+	+	−	+	−	0
4	+	−	+	+	+	−	+	−	+
5	+	−	+	+	+	0	+	−	−
6	+	−	+	+	+	+	+	−	−
7	+	−	+	+	+	−	+	−	−

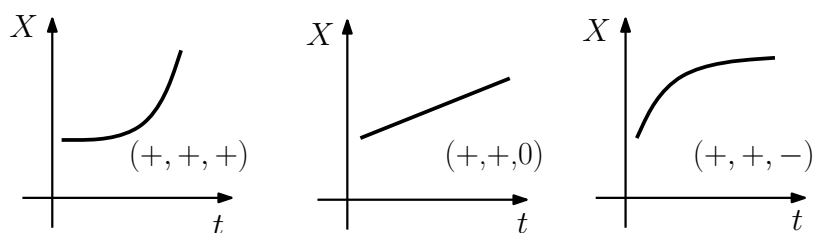
Při zběžném pohledu na tabulku 3.1 by málokdo poznal, že obsahuje informace podobné numerickému řešení znázorněného graficky na obrázku 3.1.

Každý řádek tabulky představuje jeden možný scénář vývoje počtu šířitelů, neznalých a tajnůstkářů v čase. Každý řádek tabulky je rozdělen do tří částí, které se týkají proměnných I , R a S . Pro každou proměnnou je v řádku uveden triplet, například proměnná R v prvním řádku je dána tripletem $(+, +, +)$.

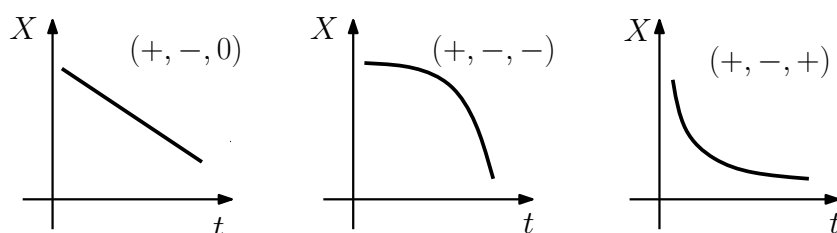
Tyto triplety jsou jen jiným způsobem zapsané trendy jednotlivých proměnných I , R a S . Například výše zmíněný triplet $(+, +, +)$ proměnné R představuje exponenciální trend (viz obrázek 3.2). Interpretace jednotlivých složek tripletu je:

$R,$	$DR,$	$DDR,$
$+$,	$+$,	$+$,
kladná hodnoty,	proměnná roste,	růst se zrychluje.

Triplet (viz tabulka 3.1) mají i svůj grafický ekvivalent, který je znázorněn na obrázcích 3.2– 3.4.

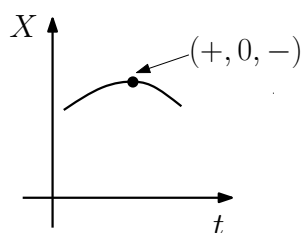


Obrázek 3.2 Rostoucí trendy a jejich triplety (Vlastní zpracování)



Obrázek 3.3 Klesající trendy a jejich triplety (Vlastní zpracování)

Triplet $(+, 0, -)$ se od ostatních tripletů v tabulce 3.1 odlišuje tím, že se nejedná o trend, ale o místo přechodu rostoucího trendu na klesající trend. V analogii na matematickou analýzu lze toto místo nazývat *vrcholem* (viz obrázek 3.4).

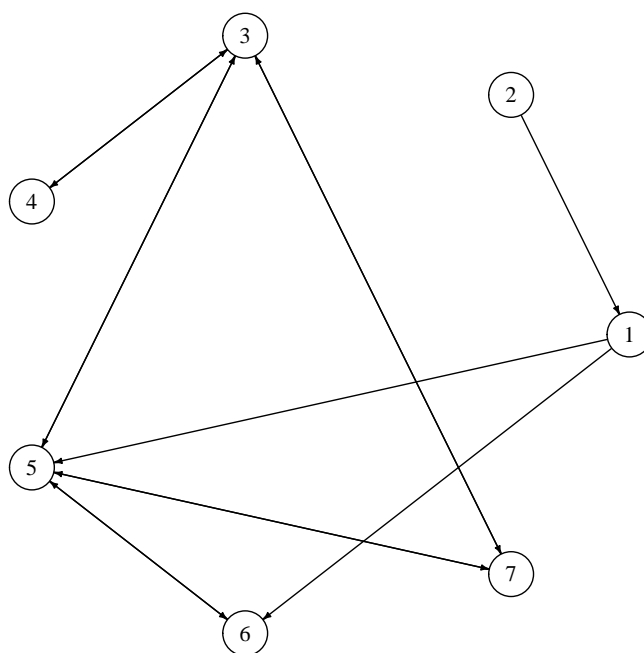


Obrázek 3.4 Vrchol (Vlastní zpracování)

Doprovodný komentář

Při řešení soustav diferenciálních rovnic se mohou výsledná řešení skládat z většího počtu různých tripletů, než jaké jsou uvedeny v tabulce 3.1 a na obrázcích 3.2– 3.4.

Aby bylo možné využít scénáře (jednotlivé řádky), uvedené v tabulce 3.1, k popisu dynamického chování modelu (1.1), je nutné určit posloupnost těchto scénářů. Užitím transformační tabulky 1.10 na scénáře v tabulce 3.1 lze určit vzájemné přechody mezi scénáři. Tyto přechody lze graficky znázornit pomocí přechodového grafu G (1.38), kde čísla v kroužcích (uzlech) odpovídají číslům scénářů z tabulky 3.1 (viz obrázek 3.5).



Obrázek 3.5 Přechodový graf G (Vlastní zpracování)

Při znalosti scénářů (viz tabulka 3.1) a jejich vzájemných přechodů (viz obrázek 3.5) lze popsat dynamické chování modelu (1.1) popisujícího šíření fámy. Pro prvotní pochopení je ukázáno dynamické chování proměnné R .

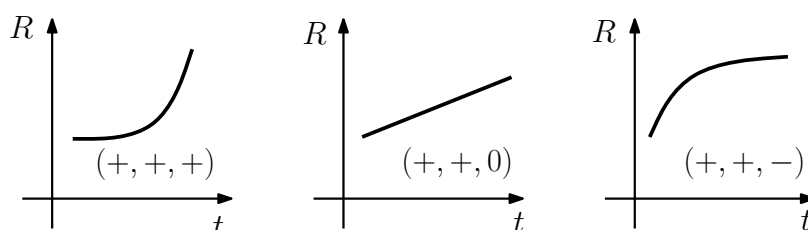
Uzel 2 je brán jako počáteční, a pokud bude dodržena orientace hran mezi jednotlivými uzly, je jedním z možných sledů:



S využitím tripletů z tabulky 3.1 lze tento sled přepsat na tvar:

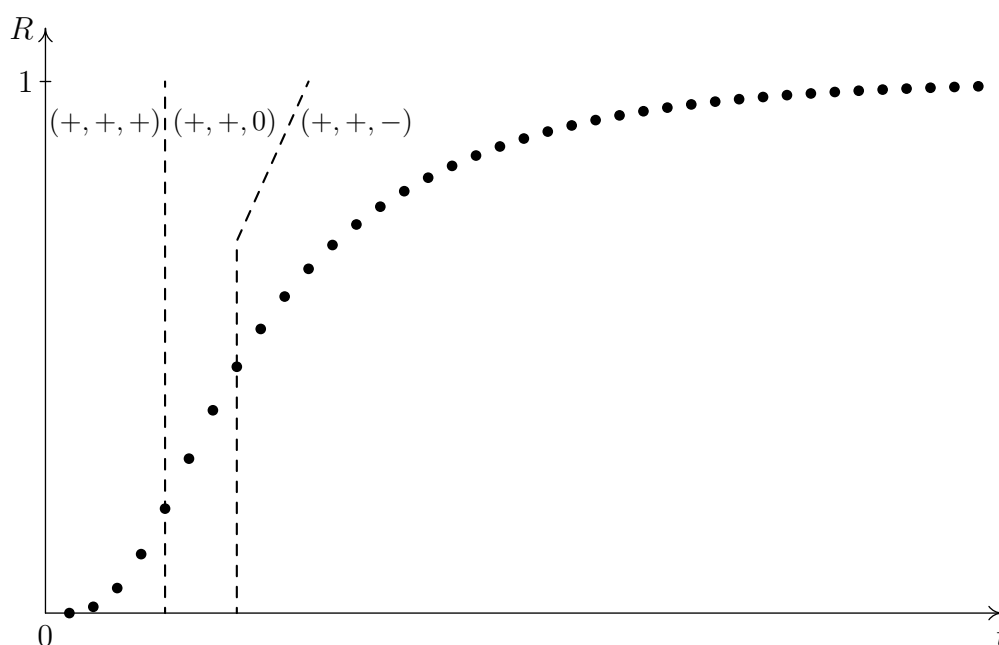
$$(+, +, +) \rightarrow (+, +, 0) \rightarrow (+, +, -).$$

Jak již bylo zmíněno, každý triplet lze graficky znázornit (viz obrázek 1.10). Na obrázku 3.6 je grafické znázornění uspořádaných trojic $(+, +, +)$, $(+, +, 0)$ a $(+, +, -)$.



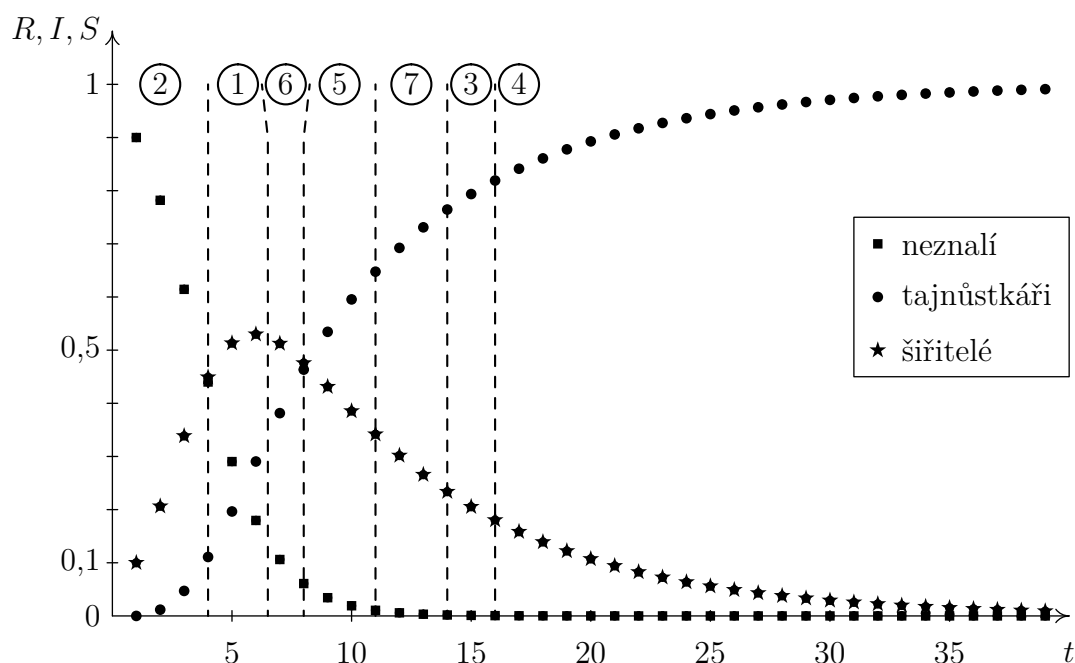
Obrázek 3.6 Grafická interpretace proměnné R (Vlastní zpracování)

Pokud trendy z obrázku 3.6 „poskládáme“ za sebe, dostaneme graf vývoje proměnné R (viz obrázek 3.7), který svým průběhem odpovídá numerickému řešení proměnné R na obrázku 3.1.



Obrázek 3.7 Vývoj počtu tajníků (Vlastní zpracování)

Podobně lze znázornit (viz obrázek 3.8) podobnost mezi numerickým řešením na obrázku 3.1 a scénáři z tabulky 3.1 pro všechny sledované proměnné I , R a S . Opět je k tomuto znázornění nutné znát přechodový graf G (viz obrázek 3.5).



Obrázek 3.8 Numerické řešení a příslušné scénáře (Vlastní zpracování)

Na základě obrázků 3.7 a 3.8 lze konstatovat, že scénáře získané pomocí navrhovaného přístupu představují trendy sledovaných proměnných. Přechodový graf G pak umožňuje identifikovat změny v charakteru těchto trendů.

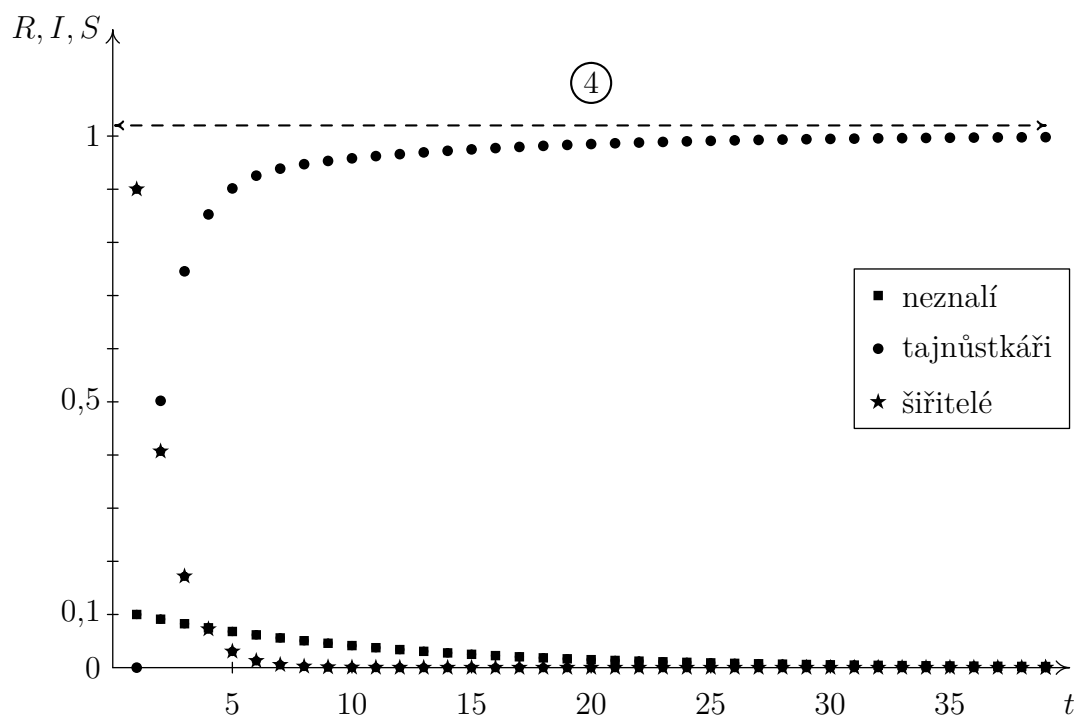
Doprovodný komentář

Navrhovaný přístup je vlastně analogií k přístupu vyšetřování průběhu funkce z matematické analýzy. I zde je určována poloha grafu (trendu) vzhledem k ose x , růst a pokles, konvexitu a konkavitu, extrémy. Je tedy možné určit všechny potřebné charakteristiky k tomu, aby bylo možné postihnout základní rysy chování modelu (sledovaných proměnných).

V případě monotónního průběhu trendu, tj. nedochází ke změně charakteru

trendu, odpovídá řešení konkrétnímu scénáři (uzlu přechodového grafu).

Na obrázku 3.9 je vidět případ monotónních trendů, které vzniknou numerickým řešením modelu (1.1) s počáteční podmínkou ($I = 0,1; R = 0; S = 0,9$). Tento průběh odpovídá scénáři č. 4 z tabulky 3.1.



Obrázek 3.9 Numerické řešení modelu (1.1) (Vlastní zpracování)

Doprovodný komentář

Numerickému řešení modelu (1.1) pro různé počáteční podmínky odpovídá při použití metody trendů množina scénářů, která je podmnožinou scénářů z tabulky 3.1. Jedná se o podgraf přechodového grafu na obrázku 3.5.

3.1.2 Řešení modelu při zanedbání druhých derivací

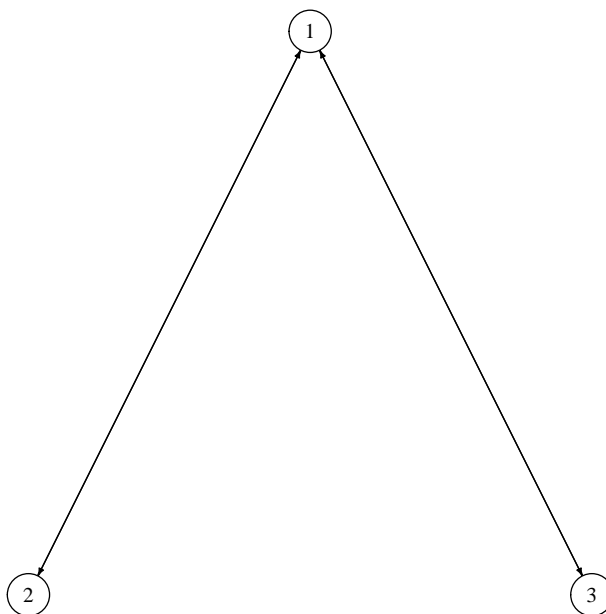
Pokud je při řešení modelu (3.1) zanedbána druhá derivace, lze výsledek zapsat ve formě následující tabulky.

Z tabulky je patrné, že dochází k redukci počtu scénářů z původních sedmi scénářů na tři.

Tabulka 3.2 Řešení modelu při zanedbání druhých derivací (Vlastní zpracování)

Scénář	I	DI	DDI	R	DR	DDR	S	DS	DDS
1	+	-	*	+	+	*	+	0	*
2	+	-	*	+	+	*	+	+	*
3	+	-	*	+	+	*	+	-	*

Aby bylo možné využít scénáře (jednotlivé řádky), uvedené v tabulce 3.2, k popisu chování modelu (1.1), je nutné určit posloupnost těchto scénářů. Užitím redukované transformační tabulky 2.1 na scénáře z tabulky 3.2 lze určit vzájemné přechody mezi těmito scénáři. Tyto přechody znázorňuje přechodový graf G (viz obrázek 3.10).



Obrázek 3.10 Přechodový graf G při zanedbání druhých derivací (Vlastní zpracování)

Při znalosti scénářů (viz tabulka 3.2) a jejich vzájemných přechodů (viz obrázek 3.10) lze popsat chování modelu (1.1) popisujícího šíření fámy. Pro prvotní pochopení je ukázán popis tendence vývoje proměnné R .

Uzel č. 2 je brán jako počáteční, a pokud bude dodržena orientace hran mezi jednotlivými uzly, je jedním z možných sledů:

$$\textcircled{2} \rightarrow \textcircled{1} \rightarrow \textcircled{3}.$$

S využitím tripletů z tabulky 3.1 lze tento sled přepsat takto

$$(+, +, \star) \rightarrow (+, +, \star) \rightarrow (+, +, \star);$$

tedy jednoduše zapsáno

$$(+, +, \star).$$

V případě zápisu $(+, +, \star)$ nelze přesně určit dynamiku chování proměnné R , protože není známa druhá derivace. Druhá derivace může být rovna kvalitativní hodnotě $+$, 0 nebo $-$; tedy vývoj proměnné R může být popsán některým z trendů na obrázku 3.6. Jediné, co lze v tomto případě rozhodně prohlásit:

trend proměnné R je rostoucí.

To znamená, že v čase se počet tajnůstkářů zvyšuje. Toto prohlášení lze vyjádřit symbolem

$$\uparrow.$$

Při znalosti scénářů (viz tabulka 3.2) a jejich vzájemných přechodů (viz obrázek 3.10) lze popsat chování proměnné S , která vyjadřuje počet šířitelů fámy stejným sledem jako v případě proměnné R , tedy

$$\textcircled{2} \rightarrow \textcircled{1} \rightarrow \textcircled{3}.$$

S využitím tripletů z tabulky 3.1 lze tento sled přepsat takto

$$(+, +, \star) \rightarrow (+, 0, \star) \rightarrow (+, -, \star). \quad (3.4)$$

Doprovodný komentář

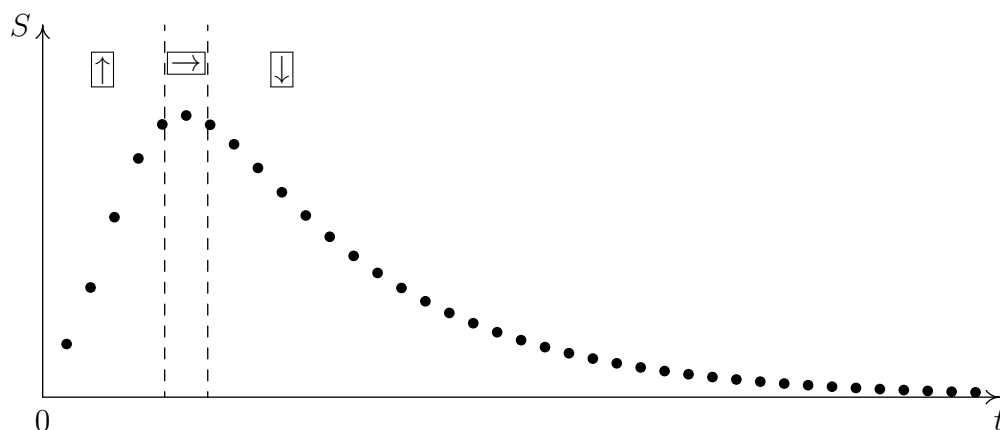
Jak již bylo uvedeno v předchozích odstavcích u zvolené proměnné, znaménko první derivace informuje o tom, zda se jedná o rostoucí, konstantní nebo klesající tendenci vývoje této proměnné. V případě, že je znaménko první derivace kladné, značí to rostoucí trend zvolené proměnné, což lze znázornit symbolem \uparrow . Záporné znaménko první derivace značí klesající trend proměnné, což lze znázornit symbolem \downarrow . Nula na místě první derivace značí, že se nejedná ani o rostoucí, ani o klesající trend proměnné. Jedná se o konstantní trend, nebo je dosaženo extrému. Tento stav lze znázornit symbolem \rightarrow .

Symbody zavedené v předešlém komentáři platí pro případ, že hodnota sledované proměnné X je kladná, tedy na prvním místě tripletu (X, DX, \star) je symbol $+$. V případě řady ukazatelů však jejich hodnota může být nulová nebo záporná, například zisk může přecházet ve ztrátu a naopak. V takových případech mohou být na prvním místě tripletu (X, DX, \star) symboly 0 nebo $-$. Označení klesající, konstantní nebo rostoucí tendence vývoje příslušné proměnné je uvedeno v tabulce 3.3.

Tabulka 3.3 Symboly vývojových tendencí pro (X, DX, \star)

$\begin{array}{c} X \\ \backslash \\ DX \end{array}$	$+$	0	$-$
$+$	\uparrow	\uparrow	\uparrow
0	\rightarrow	\rightarrow	\rightarrow
$-$	\downarrow	\downarrow	\downarrow

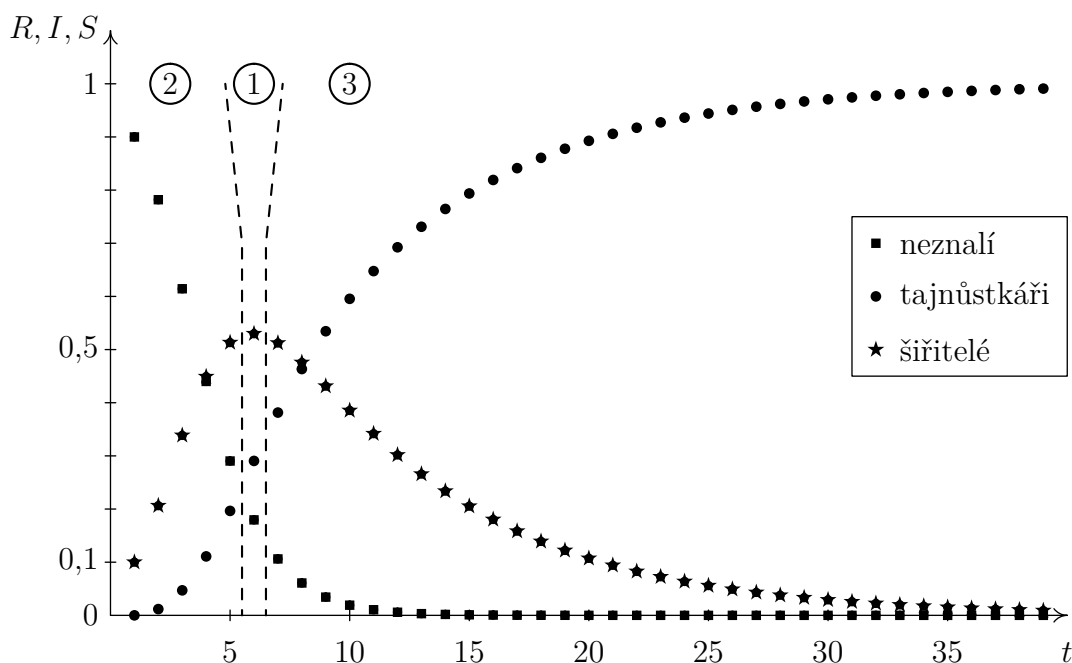
Pokud jsou tripletety v cestě (3.4) nahrazeny symboly z předcházející poznámky lze popsat tendenci vývoje proměnné S (viz obrázek 3.11), které odpovídá numerickému řešení proměnné S na obrázcích 3.1 a 3.11.



Obrázek 3.11 Vývoj počtu šířitelů (Vlastní zpracování)

Jak je z obrázku 3.11 vidět, počet šířitelů roste, následně kulminuje (dosahuje maxima) a poté klesá.

Lze tedy znázornit (viz obrázek 3.12) podobnost mezi numerickým řešením na obrázku 3.1 a scénáři z tabulky 3.2 pro všechny sledované proměnné I , R a S . Opět je k tomuto znázornění nutné znát přechodový graf G (viz obrázek 3.10).



Obrázek 3.12 Numerické řešení a příslušné scénáře (Vlastní zpracování)

Na základě obrázku 3.9 lze konstatovat, že redukované řešení (scénáře)

získané pomocí navrhovaného přístupu představuje trendy sledovaných proměnných; přechodový graf G pak umožňuje identifikovat změny v těchto trendech.

Řešení základního modelu šíření fámy (3.3) pak lze zapsat ve formě následující tabulky.

Tabulka 3.4 Řešení modelu při zanedbání druhých derivací (Vlastní zpracování)

Proměnná \ Cesta	② → ① → ③		
	I	↓	↓
R	↑	↑	↑
S	↑	⇒	↓

Ekonomický komentář

Pro rozhodovatele, například investory, vyšší a střední management, státní správu apod., by samotná znalost hodnot proměnných I (neznalých), R (tajnůstkářů) a S (širitelů) neposkytovala kompletní informaci bez návaznosti na vhodný ukazatel, například zisk, dobrou pověst, HDP apod.

Trendové modelování umožňuje jednoduchým způsobem k již existující soustavě rovnic přidat další proměnnou a provázat ji s proměnnými používanými v dané soustavě. Přidání další proměnné (ukazatele) k existujícímu modelu (soustavě rovnic) je ukázáno v další části.

3.2 Rozšíření modelu o další proměnnou

Přidání další proměnné k základnímu modelu (3.2) je ukázáno na situaci, kdy je kromě počtu neznalých, tajnůstkářů a širitelů sledován i zisk.

Ekonomický komentář

Lze si představit situaci, kdy konkurenční společnost A vypustí negativní fámu o výrobku společnosti B . Lze očekávat, že s tím, jak se fáma bude v populaci šířit, bude klesat zisk společnosti B .

3.2.1 Promořenost populace fámou

Pokud se vychází ze základního modelu (3.2), tedy je uvažována jen jedna skupina tajníků R , znají danou fámou v konkrétním čase t šířitelé a tajníci. Aby bylo možné ukazatel zisku lépe navázat na existující model (soustavu rovnic), je zavedena proměnná, která vyjadřuje tzv. promořenost populace fámou. Promořenost populace je označena P_P a je vypočtena jako podíl množství jedinců, znajících fámou, k celkovému počtu jedinců v populaci; tedy

$$P_P = \frac{S + R}{S + R + I}. \quad (3.5)$$

Praktický komentář

Promořenost se vyvíjí v čase, tj. promořenost je funkcí času, což lze zapsat jako $P_P(t)$. Z důvodu zjednodušení zápisu je časová proměnná t vynechávána.

Pokud je k modelu (3.2) přidána rovnice promořenosti (3.5), vznikne nová soustava rovnic, jejíž řešení je uvedeno v tabulce 3.5.

Z tabulky 3.5 je vidět, že řešením modelu rozšířeného o promořenost je 21 scénářů. Z posledních tří sloupců této tabulky lze vyvodit, že promořenost je kladná a v čase rostoucí. Užitím transformační tabulky 1.10 na scénáře z tabulky 3.5 lze určit vzájemné přechody mezi těmito scénáři. Tyto přechody znázorňuje přechodový graf na obrázku 3.13.

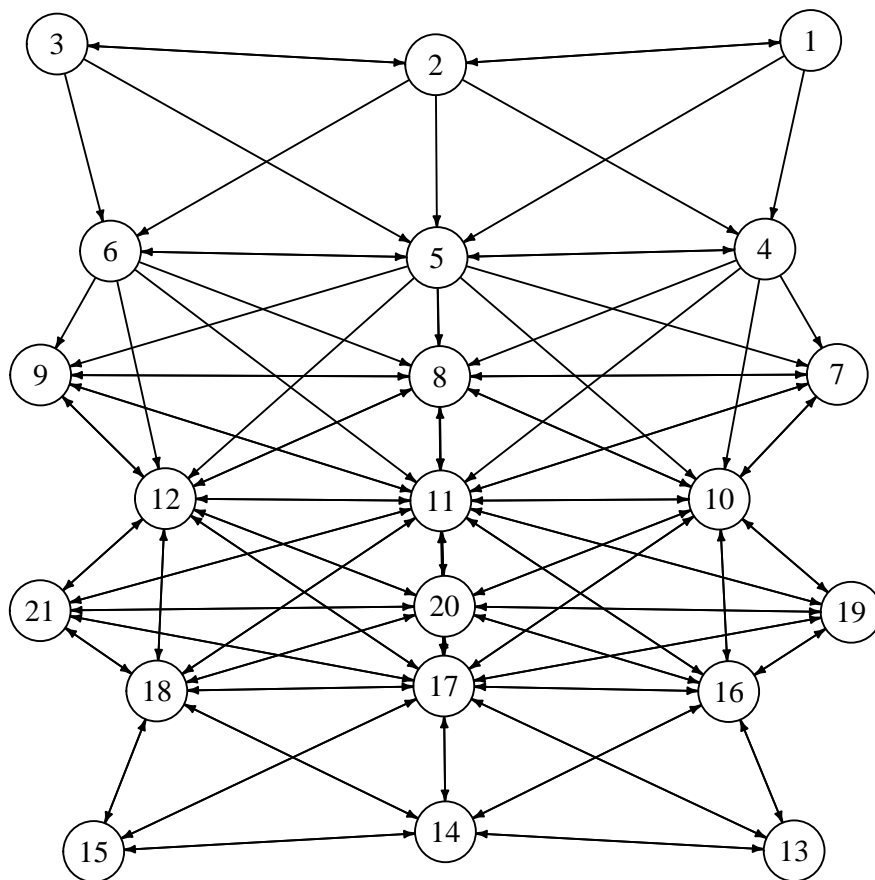
Tabulka 3.5 Řešení modelu s promořeností (Vlastní zpracování)

Scénář	I	DI	DDI	R	DR	DDR	S	DS	DDS	P_P	DP_P	DDP_P
1	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
2	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	0
3	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-
4	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	+
5	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	0
6	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	-
7	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+
8	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	0
9	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-
10	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	+
11	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	0
12	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	-
13	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+
14	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	0
15	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-
16	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	+
17	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	0
18	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	-
19	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+
20	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	0
21	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-

3.2.2 Přidání proměnné zisk k modelu

Aby bylo možné přidat novou proměnnou zisk, označenou Z , k modelu (3.2), je potřebné ji provázat s některou z proměnných, která je již v modelu zahrnuta. V tomto případě je touto proměnnou zvolena promořenost (3.5), která byla definována v předešlé části.

Jedním ze způsobů, jak vyjádřit vzájemné provázání mezi ziskem a promořeností, je zápis pomocí rovnic. Vyjádření vzájemného vztahu mezi proměnnými pomocí rovnic však vyžaduje hlubší znalost daného problému a vstupních informací. Jak již bylo uvedeno v článku 1.2.1, při nedostatku vstupních informací, lze využít prohlášení. V tomto případě je použito toto prohlášení.



Obrázek 3.13 Přechodový graf G při zanedbání druhých derivací
(Vlastní zpracování)

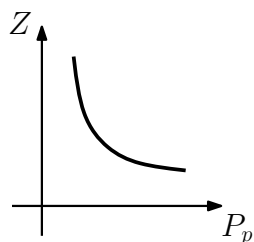
Větší počet jedinců znajících fámou značí menší zisk společnosti.

Prohlášení lze vyjádřit pomocí párových vztahů (1.26). Z výše zmíněného prohlášení vyplývá, že mezi ziskem a promořeností existuje nepřímá úměra. Graficky této nepřímé úměře odpovídají vztahy 4_I , 5_I a 6_I na obrázku 1.10. V tomto případě je použit párový vztah

$$P(P_P, Z) = 4_I, \quad (3.6)$$

jeho grafické znázornění je uvedeno na obrázku 3.14.

Přidáním prohlášení (3.6) k základnímu modelu (3.2) rozšířeného o promořenost P_P (3.5) vznikne smíšený model Q_S (1.36). V tomto případě je tento smíšený model zapsán soustavou rovnic (3.7).



Obrázek 3.14 Grafické znázornění párového vztahu 4_I (Vlastní zpracování)

$$\begin{aligned}
 DI &= -I, \\
 DS &= I \cdot S - S(S + R), \\
 DR &= S(S + R), \\
 P_P &= \frac{S + R}{S + R + I}, \\
 P(P_P, Z) &= 24.
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

S využitím substitucí $S + R = A$ a $S + R + I = T$ lze tuto soustavu přepsat na tvar

$$\begin{aligned}
 DI &= -I, \\
 DS &= I \cdot S - S \cdot A, \\
 DR &= S \cdot A, \\
 T \cdot P_P &= A, \\
 P(P_P, Z) &= 24.
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

Tento tvar lze využít k dalšímu počítačovému zpracování.

Praktický komentář

Z důvodu existence pouze dvou matematických operací, kvalitativního součtu a kvalitativního součinu (viz tabulky 1.2 a 1.3), lze smíšený model Q_S pro potřeby počítačového zpracování zapsat jako seznam těchto příkazů:

- 1 ADD S R A,
- 2 MUL S A SA,
- 3 MUL I S IS,
- 4 ADD SA DS IS,
- 5 ADD DI I NU,
- 6 ADD I A T,
- 7 MUL T Pp A,
- 8 4I Pp Z 0.

Prvních osm příkazů představuje zápis základního modelu s přidanou promořeností. Zápis ADD S R A značí $S + R = A$. Zápis MUL S A SA značí $S \cdot A = SA$. Poslední příkaz 4I představuje zápis heuristiky pomocí párového vztahu 4_I .

Řešením smíšeného modelu Q_S , soustavy (3.8), je 105 scénářů, které jsou uvedeny v následující tabulce 3.6.

Tabulka 3.6 Řešení smíšeného modelu Q_S (Vlastní zpracování)

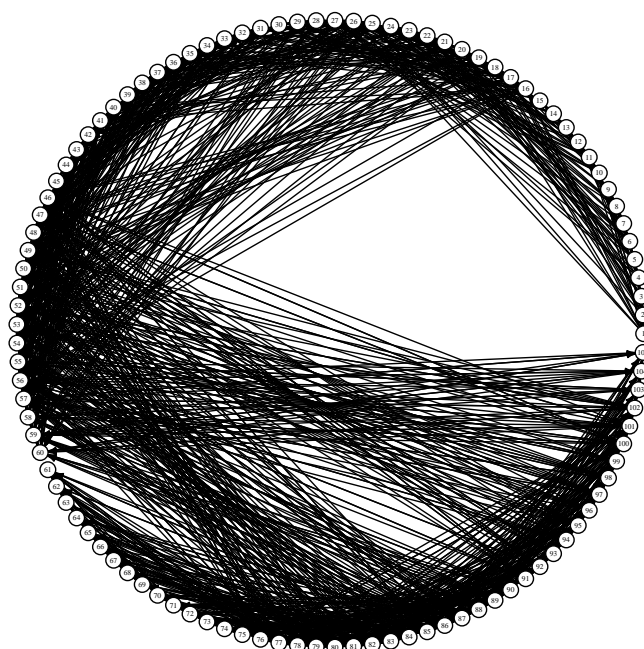
Scénář	I	DI	DDI	R	DR	DDR	S	DS	DDS	P _P	DP _P	DDP _P	Z	DZ	DDZ
1	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+
2	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	0
3	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-
4	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	0	-	+
5	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	0	-	0
6	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	0	-	-
7	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+
8	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	0
9	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-
10	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	0	+	-	+
11	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	0	0	-	+
12	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	0	-	-	+
13	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+
14	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	0	-	+
15	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+
16	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	+	+	-	+
17	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	+	+	-	0
18	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	+	+	-	-
19	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	+	0	-	+

3.2. Rozšíření modelu o další proměnnou

20	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	+	0	-	0
21	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	+	0	-	-
22	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	+	-	-	+
23	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	+	-	-	0
24	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	+	-	-	-
25	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	0	+	-	+
26	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	0	0	-	+
27	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	0	-	-	+
28	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	-	+	-	+
29	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	-	0	-	+
30	+	-	+	+	+	+	+	0	-	+	+	-	-	-	+
31	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
32	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	0
33	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-
34	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	0	-	+
35	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	0	-	0
36	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	0	-	-
37	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+
38	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	0
39	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-
40	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	0	+	-	+
41	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	0	0	-	+
42	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	0	-	-	+
43	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+
44	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	0	-	+
45	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+
46	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	+	+	-	+
47	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	+	+	-	0
48	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	+	+	-	-
49	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	+	0	-	+
50	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	+	0	-	0
51	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	+	0	-	-
52	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	+	-	-	+
53	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	+	-	-	0
54	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	+	-	-	-
55	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	0	+	-	+
56	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	0	0	-	+
57	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	0	-	-	+
58	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	-	+	-	+
59	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	-	0	-	+
60	+	-	+	+	+	0	+	-	-	+	+	-	-	-	+
61	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+
62	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	0
63	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	-	-
64	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	0	-	+
65	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	0	-	0
66	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	0	-	-
67	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	+
68	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	0
69	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-
70	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	0	+	+	-	+
71	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	0	0	-	-	+
72	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	0	-	-	-	+
73	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+
74	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	0	-	+
75	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	+
76	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	+	+	-	+
77	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	+	+	-	0
78	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	+	+	-	-
79	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	+	0	-	+
80	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	+	0	-	0
81	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	+	0	-	-
82	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	+	-	-	+
83	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	+	-	-	0
Scénář	<i>I</i>	<i>DI</i>	<i>DDI</i>	<i>R</i>	<i>DR</i>	<i>DDR</i>	<i>S</i>	<i>DS</i>	<i>DDS</i>	<i>P_P</i>	<i>DP_P</i>	<i>DDP_P</i>	<i>Z</i>	<i>DZ</i>	<i>DDZ</i>

84	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	+	-	-	-
85	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	0	+	-	+
86	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	0	0	-	+
87	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	0	-	-	+
88	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	-	+	-	+
89	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	-	0	-	+
90	+	-	+	+	+	-	+	-	0	+	+	-	-	-	+
91	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	+
92	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	0
93	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-
94	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	0	-	+
95	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	0	-	0
96	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	0	-	-
97	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	+
98	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	0
99	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	-	-	-
100	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	0	+	-	+
101	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	0	0	-	+
102	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	0	-	-	+
103	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+
104	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	0	-	+
105	+	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+
Scénář	<i>I</i>	<i>DI</i>	<i>DDI</i>	<i>R</i>	<i>DR</i>	<i>DDR</i>	<i>S</i>	<i>DS</i>	<i>DDS</i>	<i>P_P</i>	<i>DP_P</i>	<i>DDP_P</i>	<i>Z</i>	<i>DZ</i>	<i>DDZ</i>

Užitím transformační tabulky 3.6 je určeno 1 215 možných přechodů mezi scénáři tabulky 3.6. Přechodový graf G , jenž přísluší těmto scénářům a jejich přechodům, je uveden na obrázku 3.15.



Obrázek 3.15 Přechodový graf (Vlastní zpracování)

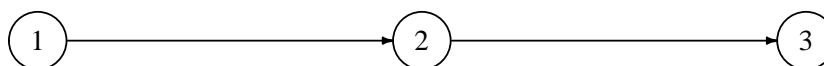
Jak je vidět z obrázku 3.15, při větším množství přechodů se stává

přechodový graf nepřehledným. Jednou z možností, jak přechodový graf zpřehlednit, je zanedbání druhých derivací. Při tomto zanedbání se 105 scénářů v tabulce 3.6 redukuje na 3 scénáře, které jsou uvedeny v následující tabulce 3.7.

Tabulka 3.7 Redukované řešení smíšeného modelu (Vlastní zpracování)

Scénář	<i>I</i>	<i>DI</i>	<i>DDI</i>	<i>R</i>	<i>DR</i>	<i>DDR</i>	<i>S</i>	<i>DS</i>	<i>DDS</i>	<i>P_P</i>	<i>DP_P</i>	<i>DDP_P</i>	<i>Z</i>	<i>DZ</i>	<i>DDZ</i>
1	+	-	*	+	+	*	+	-	*	+	+	*	+	-	*
2	+	-	*	+	+	*	+	-	*	+	+	*	0	-	*
3	+	-	*	+	+	*	+	-	*	+	+	*	-	-	*

Přechodový graf G (viz obrázek 3.16) určený na základě těchto scénářů a transformační tabulky 2.1 pak obsahuje 2 hrany.



Obrázek 3.16 Přechodový graf (Vlastní zpracování)

Redukované řešení (viz tabulka 3.7) smíšeného modelu (3.8) při znalosti přechodového grafu (viz obrázek 3.16) lze zapsat pomocí značení v tabulce 3.3 ve formě tabulky 3.8.

Tabulka 3.8 Tendence vývoje proměnných redukovaného smíšeného modelu (Vlastní zpracování)

Proměnná	Cesta		
	① → ②	② → ③	③
<i>I</i>	↓	↓	↓
<i>R</i>	↑	↑	↑
<i>S</i>	↓	↓	↓
<i>P_P</i>	↑	↑	↑
<i>Z</i>	↓	▬	▬

Z tabulky 3.8 lze sestavit tendence vývoje jednotlivých proměnných. V případě proměnných I a S se jedná o klesající tendenci vývoje. Jinak

řčeno počet neznalých a šířitelů v průběhu času klesá. U proměnných R a P_P jde o rostoucí tendenci vývoje. Což lze vysvětlit tak, že počet tajnůstkářů a promořenost populace fámou v průběhu času roste. Proměnná Z má klesající tendenci vývoje. Tuto tendenci lze s ohledem na ostatní proměnné vysvětlit tím, že jak roste promořenost populace fámou, klesá zisk firmy. V případě této proměnné se její hodnoty dostávají dokonce do záporných hodnot, tedy firma se dostává do ztráty.

3.2.3 Model šíření dvou fám a rozhodovací úlohy

V předchozím textu bylo uvažováno šíření jen jedné fámy. Popisovaný kvalitativní přístup však umožňuje modelovat šíření více fám, a dokonce velmi jednoduše pomocí heuristik definovat vzájemné vazby mezi fámami. Modelování šíření dvou fám a využití získaných výsledků je demonstrováno v následující rozhodovací úloze.

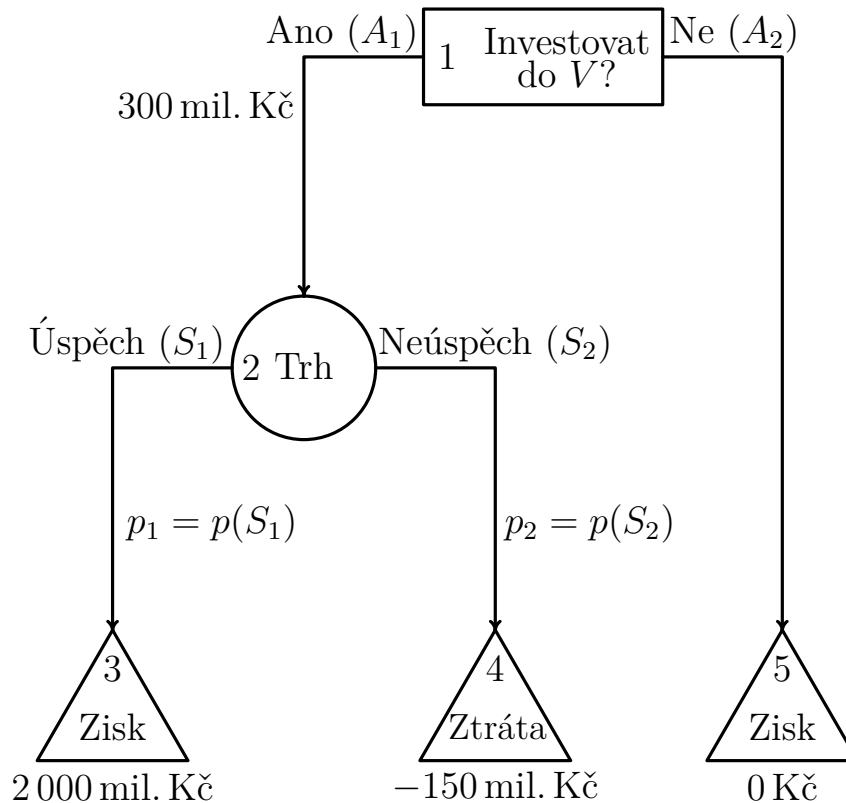
Rozhodovací úloha vychází z rozhodovacího problému popsánoho v [56]. Jistá společnost má v plánu uvést na trh nový produkt V . S uvedením tohoto produktu jsou v časovém horizontu dvou let spojeny nemalé investice (300 mil. Kč) do výzkumu a vývoje, nových technologií výroby apod. V případě úspěchu produktu na trhu společnost získá 2 000 mil. Kč, v opačném případě ztratí 150 mil. Kč.

Konkurence začne šířit dvě fámy F_1 a F_2 , které mají snížit šance na úspěch nového produktu V . Tyto fámy jsou dány takto:

(F_1) *Produkt V nebude kvůli legislativě povolen.*

(F_2) *Produkt V bude drahý.*

Vedení společnosti stojí před rozhodnutím, zda investovat do nového produktu, nebo neinvestovat. Tento rozhodovací problém je znázorněn pomocí rozhodovacího stromu (viz článek 1.3.2) na obrázku 3.17.



Obrázek 3.17 Investice do produktu V - počáteční stav (Vlastní zpracování)

Pro podporu rozhodnutí je potřebné znát šance, resp. pravděpodobnosti úspěchu p_1 a neúspěchu p_2 produktu na trhu. Úspěch produktu na trhu je ovlivněn fámami F_1 a F_2 , a proto je nutné určit pravděpodobnosti p_1 a p_2 s ohledem na šíření těchto fám.

Pro popis šíření fámy F_1 je použit kvalitativní přepis základního modelu šíření fám (1.1), který je rozšířen o promořenost P_{P1} . Níže uvedená soustava rovnic představuje trendový model $Q_{R1}(I_1, S_1, R_1, P_{P1})$.

$$\begin{aligned}
 DI_1 &= -I_1, \\
 DS_1 &= I_1 \cdot S_1 - S_1(S_1 + R_1), \\
 DR_1 &= S_1(S_1 + R_1), \\
 P_{P1} &= \frac{S_1 + R_1}{S_1 + R_1 + I_1}.
 \end{aligned}$$

Pro popis šíření fámy F_2 je také použit kvalitativní přepis základního mo-

delu (1.1) taktéž doplněný o promořenost P_{P2} . Dále uvedená soustava rovnic představuje trendový model $Q_{R2}(I_2, S_2, R_2, P_{P2})$.

$$\begin{aligned}DI_2 &= -I_2, \\DS_2 &= I_2 \cdot S_2 - S_2(S_2 + R_2), \\DR_2 &= S_2(S_2 + R_2), \\P_{P2} &= \frac{S_2 + R_2}{S_2 + R_2 + I_2}.\end{aligned}$$

Jak již bylo zmíněno na začátku tohoto článku, vzájemnou vazbu mezi fámami lze popsat pomocí prohlášení. Pro popsání vzájemného vztahu mezi fámami F_1 a F_2 je použit párový vztah (3.9).

$$P(P_{P1}, P_{P2}) = 1_I. \quad (3.9)$$

Tento párový vztah představuje kvalitativní model $Q_H(P_{P1}, P_{P2})$.

Doprovodný komentář

Vzájemný vztah mezi prohlášeními F_1 a F_2 je popsán pomocí vzájemného vztahu mezi jejich promořenostmi P_{P1} a P_{P2} . Pro popsání vztahu mezi promořenostmi je zvolen vztah 1_I (viz (3.9)). Tomuto vztahu odpovídá vztah (a) na obrázku 1.10).

Slovy lze tento vztah popsat takto:

Promořenost populace jednou fámou (F_1), zvyšuje promořenost populace druhou fámou (F_2).

Volba tohoto vztahu vychází z tvrzení (viz [87]):

Lidé, kteří přijmou určitou fámou, snáze přijmou další fámou podobného vyznění.

Výsledný trendový model Q_S šíření fám F_1 a F_2 lze vyjádřit sloučením modelů Q_{R1} , Q_{R2} a Q_H , tedy

$$\begin{aligned}
 Q_S(I_1, S_1, R_1, P_{P1}, I_2, S_2, R_2, P_{P2}) = & \\
 & Q_{R1}(I_1, S_1, R_1, P_{P1}) \wedge \\
 & Q_{R2}(I_2, S_2, R_2, P_{P2}) \wedge \\
 & Q_H(P_{P1}, P_{P2}). \quad (3.10)
 \end{aligned}$$

Z předešlého zápisu je zřejmé, že model Q_S je smíšeným trendovým modelem. Tento smíšený model Q_S lze vyjádřit ve tvaru:

$$\begin{aligned}
 DI_1 &= -I_1, \\
 DS_1 &= I_1 \cdot S_1 - S_1(S_1 + R_1), \\
 DR_1 &= S_1(S_1 + R_1), \\
 P_{P1} &= \frac{S_1 + R_1}{S_1 + R_1 + I_1}, \\
 DI_2 &= -I_2, \\
 DS_2 &= I_2 \cdot S_2 - S_2(S_2 + R_2), \\
 DR_2 &= S_2(S_2 + R_2), \\
 P_{P2} &= \frac{S_2 + R_2}{S_2 + R_2 + I_2}, \\
 P(P_{P1}, P_{P2}) &= 1_I. \quad (3.11)
 \end{aligned}$$

Řešením modelu Q_S (3.11) je množina scénářů M_S , která obsahuje 1 440 scénářů. Dle transformační tabulky 1.10 existuje mezi těmito scénáři 53 035 možných přechodů.

Praktický komentář

Vzhledem k vysokému počtu scénářů je v tabulce 3.9 uvedena jen jejich část. Vzhledem k počtu proměnných je také použito zjednodušení popisu scénářů pro jednotlivé proměnné, kdy je v záhlaví uváděno jen označení proměnné, například I_1 ; první a druhé derivace, například DI_1 a DDI_1 , jsou v popisu vynechány. Tedy první scénář $+ - +$ pro záhlaví I_1 je možné zapsat jako $I_1 = +, DI_1 = -$ a $DDI_1 = +$.

Tabulka 3.9 Řešení smíšeného kvalitativního modelu (3.11) (Vlastní zpracování)

Scénář	I_1	R_1	S_1	I_2	R_2	S_2	P_{P_1}	P_{P_2}
1	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	+++	+++
2	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	+++	++0
3	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	+++	+-
4	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	+++	+0+
5	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	+++	+00
6	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	+++	+0-
7	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	+++	+-+
8	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	+++	+-0
9	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	+++	+-
10	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	++0	+++
11	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	++0	++0
12	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	++0	+-
13	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	++0	+0+
14	+-+	+++	++-	+-+	+++	+-+	++0	+00
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1428	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-0	+0-
1429	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-0	+-+
1430	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-0	+-0
1431	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-0	+-
1432	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-	+++
1433	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-	++0
1434	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-	+-
1435	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-	+0+
1436	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-	+00
1437	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-	+0-
1438	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-	+-+
1439	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-	+-0
1440	+-+	++-	+-	+-+	++-	+-	+-	+-

Vzhledem k velkému počtu scénářů smíšeného modelu (3.11) je pro vyvození potřebných závěrů, nalezení pravděpodobností p_1 a p_2 , vhodné zredukovat počet těchto scénářů.

Ekonomický komentář

Vedení společnosti předpokládá, že rostoucí povědomí o obou fámách F_1 a F_2 bude mít negativní vliv na úspěch produktu V na trhu.

Na základě předchozího komentáře stačí pro určení pravděpodobností p_1 a p_2 znát pouze informaci o tom, zda povědomí o fámách F_1 a F_2 roste, stagnuje nebo klesá. V takovémto případě se lze zaměřit jen na znaménko první derivace promořeností P_{P_1} a P_{P_2} obou fám. Lze využít postup, který je popsán v článku 2.1.1, a zanedbat druhé derivace sledovaných proměnných.

Výsledek redukce množiny M_S scénářů je uvedena v následující tabulce 3.10. Z tabulky je patrné, že zanedbáním druhých derivací proměnných se počet scénářů redukoval z 1 440 na 41 scénářů.

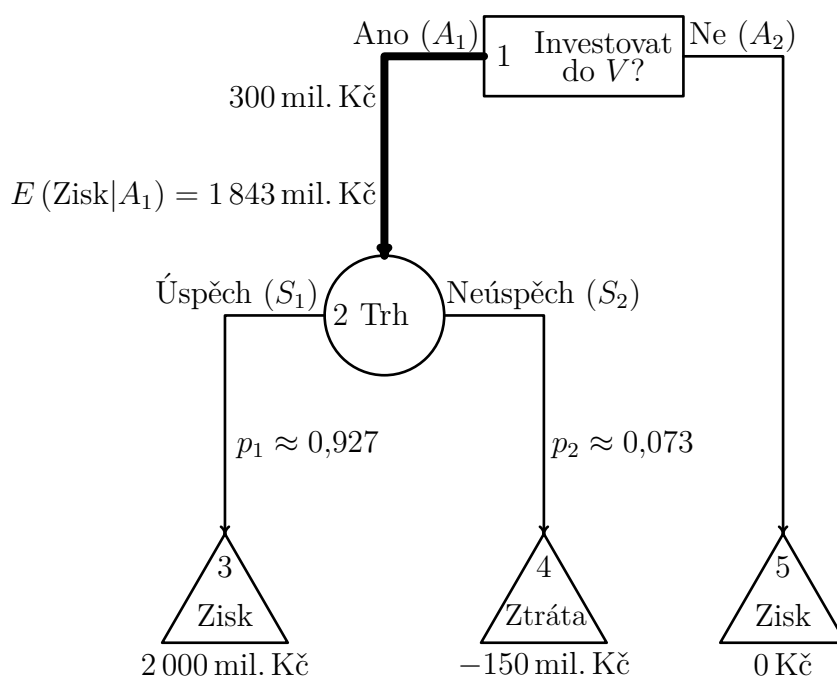
Tabulka 3.10 Redukované řešení smíšeného kvalitativního modelu (3.11)
(Vlastní zpracování)

Scénář	I_1	R_1	S_1	I_2	R_2	S_2	P_{P_1}	P_{P_2}
1	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑
2	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	→
3	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↓
4	↓	↑	↑	↓	↑	↑	→	↑
5	↓	↑	↑	↓	↑	↑	→	→
6	↓	↑	↑	↓	↑	↑	→	↓
7	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↑
8	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↓	→
9	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↓
10	↓	↑	↑	↓	↑	→	↑	↓
11	↓	↑	↑	↓	↑	→	→	↓
12	↓	↑	↑	↓	↑	→	↓	↓

13	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑
14	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↑	→
15	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↓
16	↓	↑	↑	↓	↑	↓	→	↑
17	↓	↑	↑	↓	↑	↓	→	→
18	↓	↑	↑	↓	↑	↓	→	↓
19	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑
20	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	→
21	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓
22	↓	↑	→	↓	↑	↑	↓	↑
23	↓	↑	→	↓	↑	↑	↓	→
24	↓	↑	→	↓	↑	↑	↓	↓
25	↓	↑	→	↓	↑	→	↓	↓
26	↓	↑	→	↓	↑	↓	↓	↑
27	↓	↑	→	↓	↑	↓	↓	→
28	↓	↑	→	↓	↑	↓	↓	↓
29	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↑
30	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↓	→
31	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↓
32	↓	↑	↓	↓	↑	→	↓	↓
33	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↑
34	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	→
35	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓
36	↓	↑	↓	↓	↑	↓	→	↑
37	↓	↑	↓	↓	↑	↓	→	→
38	↓	↑	↓	↓	↑	↓	→	↓
39	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑
40	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	→
41	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓
Scénář	I_1	R_1	S_1	I_2	R_2	S_2	P_{P_1}	P_{P_2}

Z tabulky 3.10 je zřejmé, že z čtyřiceti jedna scénářů pouze tři scénáře, scénář č. 1, 13 a 33, splňují podmínku současného růstu promořenosti populace fámami. V tabulce jsou tyto scénáře vyznačeny tmavě šedou barvou ■. Každý scénář lze chápat jako případný stav promořenosti, a tedy v přeneseném významu úspěchu nebo neúspěchu produktu V na trhu. Pak odhad pravděpodobnosti neúspěchu p_2 produktu V je $p_2 \approx \frac{3}{41} \doteq 0,073$. Odhad pravděpodobnosti úspěchu p_1 produktu V pak je $p_1 \approx 1 - p_2 = 1 - 0,073 = 0,927$.

Podle známých hodnot pravděpodobností p_1 , p_2 a postupu popsaného v článku 1.3.2 lze formulovat podklady pro rozhodnutí (viz obrázek 3.18).



Obrázek 3.18 Investice do produktu V - podklady pro rozhodnutí (Vlastní zpracování)

V případě „košatějšího“ rozhodovacího stromu může nastat situace, kdy některé pravděpodobnosti jsou určeny výše popsaným způsobem, některé pravděpodobnosti vycházejí ze znalosti vedení. V takovémto případě jde o kompromisní úlohu, jejíž postup řešení je popsán v článku 2.4.4.

Doprovodný komentář

Ve výše uvedeném příkladu jsou uvažovány dvě fámy, které mají ztížit vstup nového produktu na trh. Použitý postup však lze velmi jednoduše modifikovat i na úlohy, kde účinek fám, jde „proti sobě“. Tedy na úlohy, kdy společnost může reagovat na šířenou fámu tím, že začne šířit svou vlastní fámu. K určení průběhu šíření této fámy, může pomoci lineární rekonstrukce pomocí trendů, která je popsána v článku 2.3.

3.2.4 Model šíření fámy a její dopad na počáteční veřejnou nabídku akcií

V tomto článku je kvalitativní přístup aplikován na studium dopadu šíření fám na počáteční veřejnou nabídku akcií (IPO).

Palmon (viz [86]) uvádí, že tištěná média, ale i další zprostředkovatelé informací, jako jsou webové stránky, blogy a sociální sítě, jsou často zdrojem zavádějících zpráv (fám), které mohou významnou měrou ovlivnit rozhodování účastníků na akciového trhu. V těchto situacích je třeba realizovat cílené komunikační kampaně ze strany dotčených společností a jejich investičních bank, aby se zabránilo neúspěchu prvotní veřejné nabídky akcií (IPO). Tedy šíření fám má nezanedbatelný vliv na úspěch IPO.

IPO může být považováno za úspěšné, jestliže byl dostatek poptávky po akciích, což vede k prodeji emitovaných akcií za nejvyšší cenu a současně poskytuje investorům příležitost k dlouhodobému zisku (viz [89]).

Uváděný příklad je upraven dle [89]. V příkladu je uvažováno prohlášení, že existuje fáma F_1 o politické nestabilitě v určitém státu, která činí finanční trhy, respektive investory nervózními.

(F_1) Předešlá vláda končí své funkční období a nová vláda vyslala během předvolební kampaně signál, že by mohlo dojít k zásadním změnám v hospodářské politice státu.

Toto prohlášení, bylo opakovaně publikováno články v předních me-

zinárodních ekonomických časopisech a odhaluje informace, které jsou pro veřejnost nové a mohou negativně ovlivnit prodej nově emitovaných akcií v rámci IPO. Jak uvedl Seymour-Ure v [87], fámy tradičně hrají významnou roli při utváření veřejného úsudku. Pokud je tedy široká veřejnost investorů zasažena tímto sdělením, které se výrazně dotýká trhu se zapůjčitelnými fondy, čistého odlivu kapitálu, reálného kurzu a ceny aktiv, pak v případě uvažování modelu otevřené ekonomiky (viz [88]), mohou pověsti o politické nestabilitě změnit rovnováhu ekonomiky, cenu aktiv a aktivitu IPO. Dle [86,88,89] lze formulovat vztahy, které jsou uvedeny v dalších odstavcích.

Za prvé, část investorů je citlivá na pověsti a rozhodne se prodat část svého majetku, který vlastní v státě. Výtěžek použijí k nákupu zahraničních aktiv, což vede ke zvýšení čistého odlivu kapitálu (NCO). Za druhé, zvýšení NCO má za následek větší poptávku po zapůjčitelných fondech (FL) v státě, tak aby pokryla rostoucí poptávku po zahraničních aktivech. Tím se zvyšuje reálná úroková sazba v státu. Za třetí, protože stále více investorů dodává na trh zahraničních měn vyšší objemy domácí měny státu, dochází k jeho depreciaci.

Tyto cenové změny, vyplývající z fám o politické nestabilitě, ovlivňují některé další klíčové makroekonomické ukazatele. Měnové odpisy tlačí obchodní bilanci státu k přebytku. Vyšší úroková sazba snižuje tuzemské reálné investice u soukromých i veřejných investorů, protože budoucí výnos je silněji diskontován a není užitečné obětovat stávající zdroje (viz [89,90]). Zvýšení převažujících úrokových sazeb ovlivňuje trh cenných papírů v státu. V [89] je uvedeno, že existuje inverzní vztah mezi úrokovými sazbami a cenou dluhopisů. Pokud se tedy úrokové sazby posunou nahoru, ceny dluhopisů se posunou směrem dolů. Mnoho společností působících v reálné ekonomice také zaznamenává pokles svých cen akcií (SP), neboť vyšší úrokové sazby znamenají nižší spotřebu a tím i výnosy; v případě finančního odvětví se může objevit opačný trend. Navíc, když jsou bankovní úvěry dražší, IPO společnosti čelí ve větším rozsahu fenoménu informační asymetrie, která určuje cenu, za kterou lze prodávat podíl běžných veřejných společností; při kombinaci s vyššími

úrokovými sazbami je výraznější podhodnocení emisního kurzu nově emitovaných akcií (UP). Proto stát zažívá nižší objemy IPO, protože jak investoři, tak budoucí emitenti mají větší podnět k tomu, aby počkali na „výhodnější“ makroekonomické podmínky (viz [89]).

Pro model šíření fámy a jejího dopadu na IPO lze na základě předešlého textu identifikovat proměnné NCO , FL , SP , UP a jejich vztahy (3.12), které jsou zapsány pomocí párových vztahů (1.26).

$$\begin{aligned} P_1(NCO, FL) &= 2_I, \\ P_2(NCO, SP) &= R_I, \\ P_3(NCO, UP) &= R_I. \end{aligned} \tag{3.12}$$

Doprovodný komentář

Označení R_I je použito z toho důvodu, že na základě formulací v předešlém textu není zřejmé, zda rychlost změn mezi příslušnými proměnnými NCO , SP a UP (viz (3.12)) je konstantní, roste nebo klesá. Tedy R_I zastupuje vztahy 1_I , 2_I a 3_I (vztahy (a), (b) a (c) na obrázku 1.10).

Párové vztahy (3.12) formulují trendový model $Q_{H1}(P_1, P_2, P_3)$, který je založen na heuristikách. Šíření fámy F_1 je popsáno trendovým modelem $Q_R(S, R_a, R_u, I, P)$ vycházejícího z modelu (1.2) a rozšířeného o promořenost populace fámou P_P . Pak platí

$$\begin{aligned} DI &= -I \cdot S, \\ DS &= +I \cdot S - S(S + R_a + R_u) - S, \\ DR_a &= I \cdot S + S(S + R_a + R_u) + S, \\ DR_u &= I \cdot S, \\ P_P &= \frac{S + R_a}{S + R_a + R_u + I}. \end{aligned} \tag{3.13}$$

Dopad šíření fámy na IPO lze popsat vhodným provázáním modelu Q_R (3.13) s modelem Q_{H1} (3.12).

Doprovodný komentář

V tomto případě se ukazuje výhodnost popisovaného přístupu, protože svázání obou modelů Q_{H1} a Q_R lze realizovat zavedením dodatečných párových vztahů; tedy zavedením dalšího trendového modelu Q_{H2} založeného na prohlášeních.

Z předešlého textu vycházejícího z uveřejněných prací (viz [87, 89, 90]) vyplynulo tvrzení: „*Investoři jsou citliví na pověsti, respektive fámy a rozhodnou se prodat část svého majetku, který vlastní v státě. Výtěžek použijí k nákupu zahraničních aktiv, což vede ke zvýšení čistého odlivu kapitálu (NCO).*“

Na základě tohoto tvrzení lze formulovat prohlášení H_4 .

(H_4) Rostoucí znalost fámy F_1 , tedy rostoucí promořenost populace P_P , má negativní vliv na čistý odliv kapitálu NCO .

Doprovodný komentář

Označení H_4 je zvoleno z toho důvodu, že tři párové vztahy v modelu (3.12) představují jiný zápis tří heuristiky H_1 , H_2 a H_3 .

Z formulace prohlášení H_4 není zcela jasné, jak se mění rychlost odlivu čistého kapitálu NCO , když promořenost populace P_P roste. Tedy pro vyjádření vztahu mezi NCO a P_P může být použit vztah 4_I nebo 5_I nebo 6_I (viz vztahy (d)–(f) na obrázku 1.10). Tyto možné vzájemné vazby bude zastupovat označení K_I (viz tabulka 1.7).

V takovém případě lze prohlášení H_4 zapsat párovým vztahem (3.14).

$$P_4(P_P, NCO) = K_I. \quad (3.14)$$

Tento párový vztah představuje trendový model Q_{H2} založený na jednom prohlášení H_4 .

Model popisující šíření fámy a její dopad na IPO lze získat sloučením modelů Q_{H1} (3.12), Q_R (3.13) a Q_{H2} (3.14). Takto získaný model je smíšeným

trendovým modelem Q_S .

$$Q_S(NCO, FL, SP, UP, I, S, R_a, R_u, P_P) = Q_{H1}(NCO, FL, SP, UP) \wedge Q_R(I, R_a, R_u, S, P_P) \wedge Q_{H2}(P_P, NCO). \quad (3.15)$$

Praktický komentář

Použitím dvou matematických operací, kvalitativního součtu a kvalitativního součinu (viz tabulky 1.2 a 1.3), lze smíšený model Q_S pro potřeby počítačového zpracování zapsat jako seznam těchto příkazů:

```

1 d/t RA DRA 0
2 d/t RU DRU 0
3 d/t I DI 0
4 d/t S DS 0
5 MUL I S IS
6 ADD DI IS NU
7 ADD S RA SRA
8 ADD SRA RU SRAU
9 MUL S SRAU SSRAU
10 ADD SSRAU S SSRAUS
11 ADD DS SSRAUS IS
12 ADD IS SSRAUS DRA
13 ADD DRU NU IS
14 ADD RA RU R
15 ADD S R SR
16 ADD I SR SRI
17 MUL P SRI SR
18 2I NCO FL 0
19 RI NCO SP 0
20 RI NCO UP 0
21 KI Pp NCO 0
    
```

Kde IS, NU, SRA, SRAU, SSRAU, SSRAS, SR a SRI jsou pomocné proměnné.

Řešením smíšeného trendového modelu Q_S (3.15) je množina M_S , která obsahuje 15 scénářů (viz tabulka 3.11).

Tabulka 3.11 Řešení IPO (Vlastní zpracování)

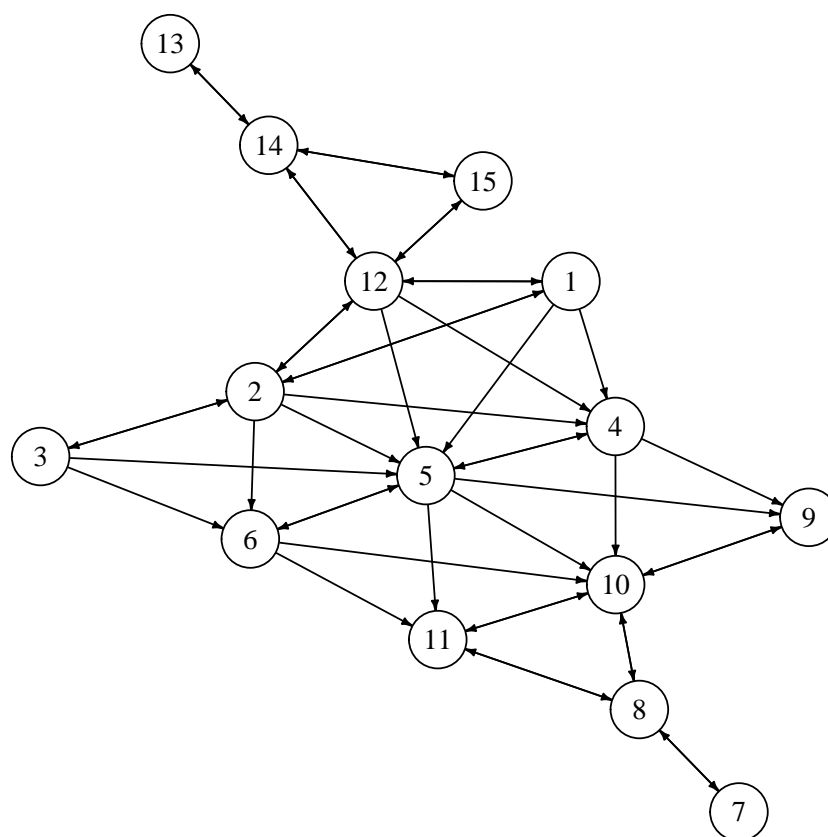
Scénář	P_P	NCO	FL	SP	UP	I	S	R_a	R_u
1	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	++-	+++	++-
2	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	++-	++0	++-
3	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	++-	++-	++-
4	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+0-	+++	++-
5	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+0-	++0	++-
6	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+0-	++-	++-
7	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	++-	++-
8	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - 0	++-	++-
9	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - -	+++	++-
10	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - -	++0	++-
11	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - -	++-	++-
12	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - 0	++-	+++	++0
13	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - -	+++	+++	+++
14	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - -	++0	+++	+++
15	++-	+ - +	+ - +	+ - +	+ - +	+ - -	++-	+++	+++

Praktický komentář

Vzhledem k počtu proměnných je také použito zjednodušení popisu scénářů pro jednotlivé proměnné, kdy je v záhlaví uváděno jen označení proměnné, například I ; první a druhé derivace, například DI a DDI , jsou v popisu vynechány. Tedy první scénář $+ - +$ pro záhlaví I lze zapsat jako $I = +$, $DI = -$ a $DDI = +$.

Užitím transformační tabulky 3.6 je určeno 46 možných přechodů mezi všemi 15 scénáři tabulky 3.11. Přechodový graf G , jenž přísluší těmto scénářům a jejich přechodům, je uveden na obrázku 3.19.

Přechodový graf na obrázku 3.19 uvádí všechny možné posloupnosti uzlů. Tyto posloupnosti jsou popisem minulého a budoucího chování modelu. To



Obrázek 3.19 Přechodový graf (Vlastní zpracování)

znamená, že přechodový graf představuje všechny možné minulé, respektive budoucí chování sledovaných proměnných.

Doprovodný komentář

Lze tedy říci, že změna vývoje stavu sledovaných proměnných, tj. predikce, je shodná s volbou určité posloupnosti uzlů z přechodového grafu (viz obrázek 3.19).

Ve většině úloh z praxe je snaha o určení toho, co se stane nebo nestane v budoucím období. Tato predikce je výsledkem rozhodnutí rozhodovatelů, například veřejné společnosti a jejich investiční banky, a neznámých kroků indiferentního účastníka, například vláda, tištěná média, sociální sítě apod.

Ekonomický komentář

V řadě ekonomických problémů může být predikce ovlivněna volbou typu proměnných. Sledované proměnné lze rozdělit do tří množin; na cílové proměnné GV, rozhodovací proměnné DV a proměnné mimo kontrolu rozhodovatele OV. Cílové proměnné jsou proměnné, které jsou pro rozhodovatele klíčové, například zisk, tržby, dobrá pověst apod. Rozhodovací proměnné jsou proměnné, které má rozhodovatel pod svoji kontrolou, např. velikost emise akcií. Proměnné mimo kontrolu rozhodovatele jsou proměnné, u kterých dochází ke změnám působením indiferentního účastníka, např. fámy, fake news, kroky vlády apod. Podrobněji je tato problematika popsána v [91, 92].

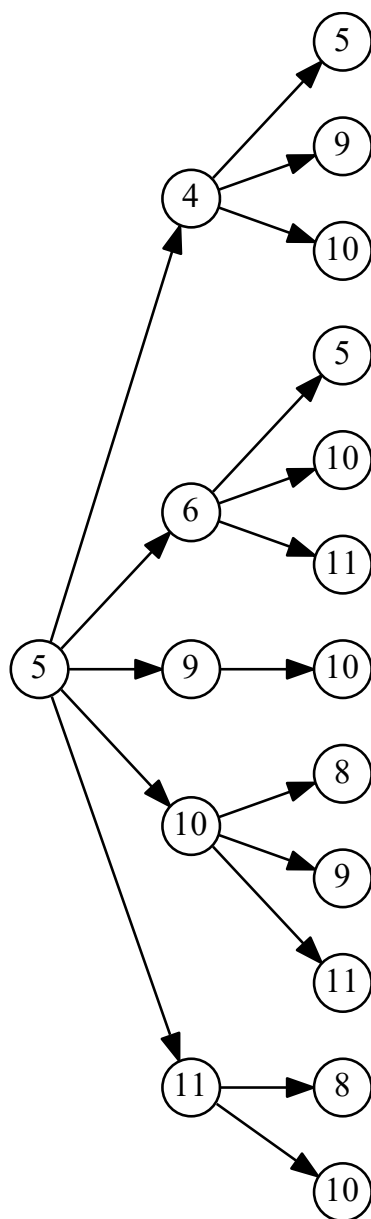
Při znalosti jednotlivých typů proměnných GV, DV a OV lze například zjišťovat, zda lze změnou rozhodovacích proměnných DV ovlivňovat cílové proměnné GV při znalosti chování proměnných mimo kontrolu OV. Jinými slovy, formulovat možné varianty rozhodnutí.

Pokud neexistují cílové proměnné, tedy $GV = \emptyset$, pak se vytvoří pouze seznam všech možných budoucích stavů chování sledovaného modelu. Což je i tento příklad.

Jak již bylo uvedeno výše, všechny možné budoucí stavy lze získat z přechodového grafu (viz obrázek 3.19). Pro aplikaci navrhovaného přístupu, je uvažováno, že scénář č. 5 popisuje aktuální situaci. Každá hrana přechodového grafu představuje přechod z jednoho uzlu do druhého. Tento přechod je spojen s určitou dobou trvání, která je vyjádřena v určitých časových jednotkách. Pro zjednodušení lze uvažovat, že každý přechod trvá jednu časovou jednotku.

Je požadováno zjistit, jaké mohou být budoucí stavy v nejbližších dvou časových jednotkách. Graficky lze tyto stavy znázornit pomocí trendového stromu (viz obrázek 3.20).

Z obrázku 3.20 je patrné, že existuje celkem dvanáct možných stavů



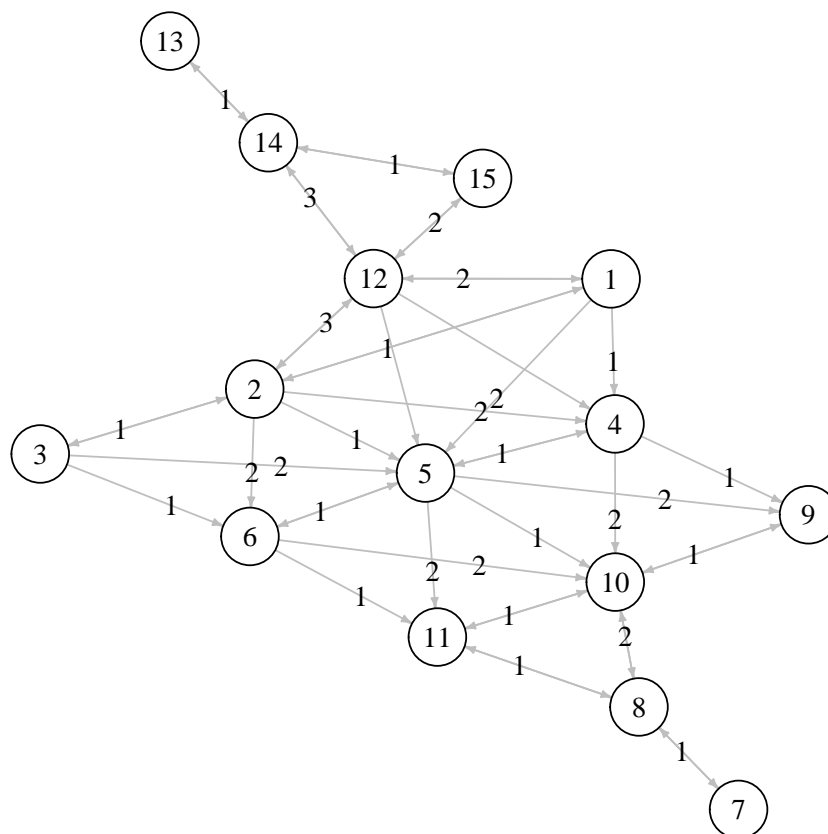
Obrázek 3.20 Trendový strom (Vlastní zpracování)

(12 uzlů na třetí úrovni trendového stromu). Nejpravděpodobnější stav je možné určit modifikací heuristiky popsané v článku 2.4.1. Tato modifikace (viz [91]) je založena na faktu, že přechod mezi scénáři je spojen se změnou některých proměnných (viz tabulka 3.11). Například při přechodu ze scénáře č. 3 na scénář č. 5 se mění proměnné S a R_a (viz tabulka 3.12 a obrázek 3.21). Proměnná S se mění z trendu $(+, +, -)$ na trend $(+, 0, -)$, proměnná R_a se mění z trendu $(+, +, -)$ na trend $(+, +, +)$.

Tabulka 3.12 Změna proměnných (Vlastní zpracování)

Scénář	P_P	NCO	FL	SP	UP	I	S	R_a	R_u
3	++-	+--+	+--+	+--+	+--+	+--+	+++	+++	+++
5	++-	+--+	+--+	+--+	+--+	+--+	+0-	+++0	+++

Na obrázku 3.21 jsou hrany přechodového grafu (viz obrázek 3.20) ohodnoceny čísly, která vyjadřují počet proměnných, které se musí při těchto přechodech změnit.



Obrázek 3.21 Přechodový graf s ohodnocením hran (Vlastní zpracování)

Na základě počtu měněných proměnných při přechodech mezi jednotlivými scénáři (viz tabulka 3.11) lze určit pro přechody v trendový stromu (viz obrázek 3.20) jejich pravděpodobnosti.

Tabulka 3.13 Pravděpodobnosti (Pst.) přechodů (Vlastní zpracování)

Z uzlu	Do uzlu	Pst.	Z uzlu	Do uzlu	Pst.
5	4	0,205	9	10	1
5	10	0,193	6	11	0,375
5	9	0,216	6	10	0,25
5	6	0,193	6	5	0,375
5	4	0,193	4	10	0,25
11	10	0,5	4	9	0,375
11	8	0,5	4	5	0,375
10	11	0,375			
10	9	0,375			
10	8	0,25			

Z tabulky 3.13 a obrázku 3.20 je patrné, že nejpravděpodobnějším budoucím stavem, během dvou časových jednotek, je větev



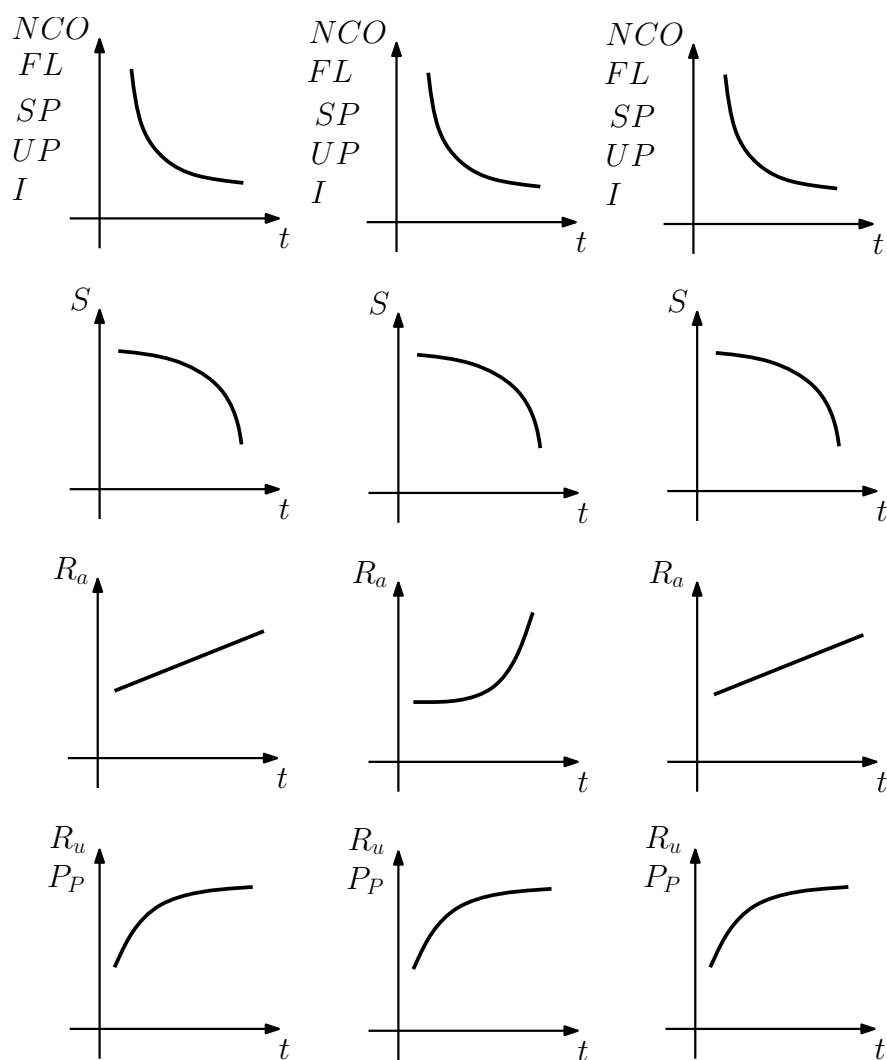
Trendy jednotlivých proměnných jsou uvedeny v tabulce 3.14.

Tabulka 3.14 Predikce vývoje proměnných (Vlastní zpracování)

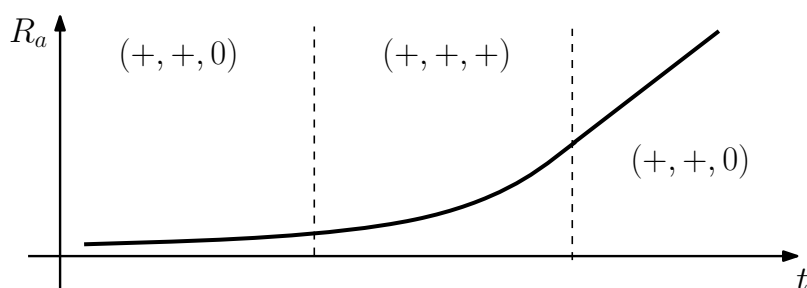
Proměnná	Predikce				
	$\textcircled{5}$	\rightarrow	$\textcircled{9}$	\rightarrow	$\textcircled{10}$
P_P	++-		++-		++-
NCO	+ - +		+ - +		+ - +
FL	+ - +		+ - +		+ - +
SP	+ - +		+ - +		+ - +
UP	+ - +		+ - +		+ - +
I	+ - +		+ - +		+ - +
S	+ 0 -		+ - -		+ - -
R_a	++ 0		+++		++ 0
R_u	++ -		++ -		++ -

Graficky lze trendy, které jsou zapsány triplety v tabulce 3.14, znázornit pomocí vztahů (a)–(f) z obrázku 1.10.

Pro každou sledovanou proměnnou lze na základě obrázku 3.22 zrekonstruovat její vývoj v čase. Například vývoj proměnné $R_a(t)$ v čase t je uveden na následujícím obrázku 3.23.

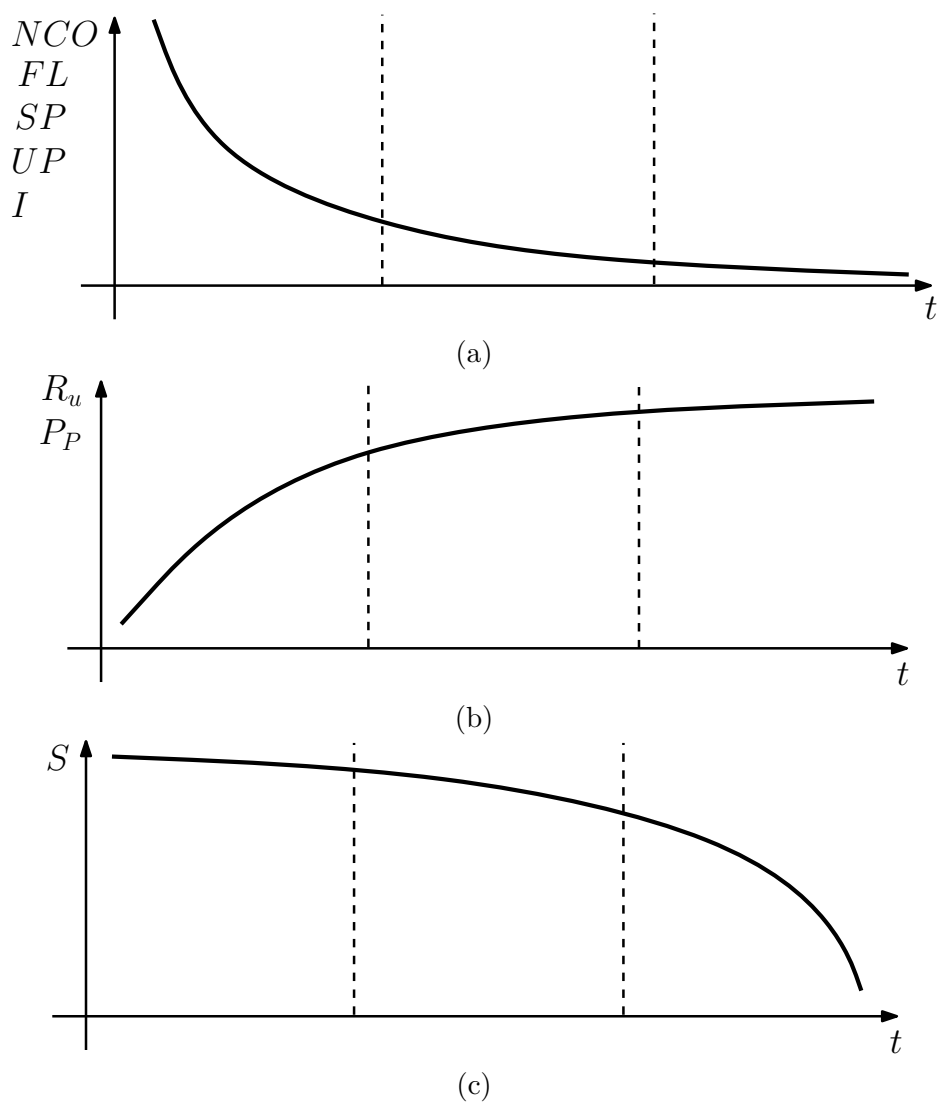


Obrázek 3.22 Grafické znázornění tripletů z tabulky 3.14 (Vlastní zpracování)



Obrázek 3.23 Vývoj proměnné R_a v čase (Vlastní zpracování)

Vývoje zbývajících proměnných NCO , FL , SP , UP , I , S , R_u a P_P v čase jsou uvedeny na obrázcích 3.24(a)–3.24(c).



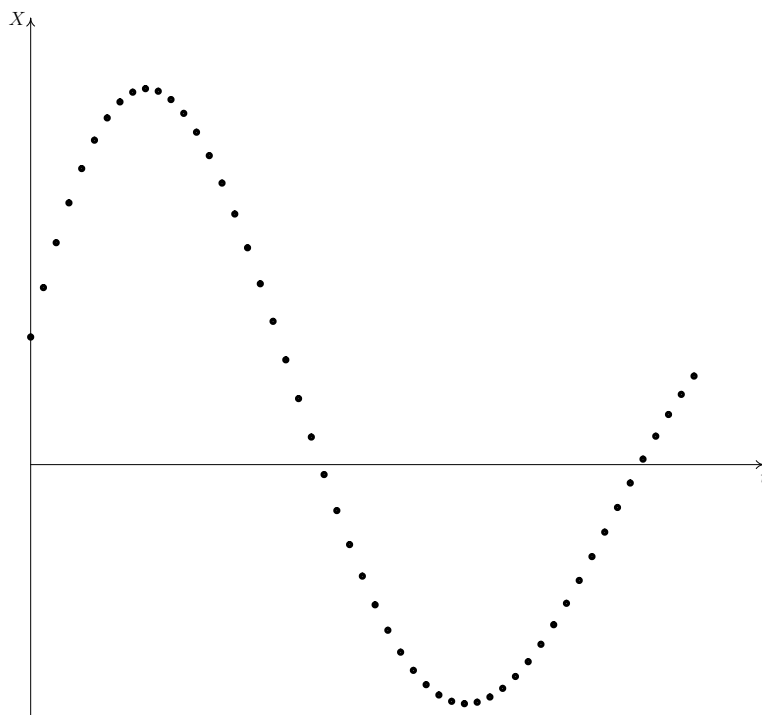
Obrázek 3.24 Časové řady (Vlastní zpracování)

Ekonomický komentář

K výsledkům v tabulce 3.11 je nutno poznamenat, že sledované proměnné mají pro koncové scénáře z obrázku 3.21 stejné trendy. To znamená, že grafické znázornění dalších cest z obrázku 3.21 by odpovídalo obrázkům 3.23 a 3.24. Projevilo se zde jisté omezení trendového modelování, které například lze obejít změnou počtu proměnných.

3.3 Lineární rekonstrukce modelu

V tomto oddílu je ukázán postup lineární rekonstrukce modelu na příkladu tlumeného kmitání z příkladu 1.1.



Obrázek 3.25 Vývoj proměnné X v čase (Vlastní zpracování)

Na obrázku 3.25 je znázorněn vývoj proměnné X v čase t . Jde tedy o časovou řadu. Rozdělením této časové řady na úseky, na kterých má proměnná X monotónní trend, lze časovou řadu popsat pomocí vztahů na obrázku 1.10. Tento postup je nazýván segmentace.

Tabulka 3.15 Scénáře (Vlastní zpracování)

Scénář	X	DX	DDX
1	+	+	-
2	+	0	-
3	+	-	-
4	+	-	0
5	+	-	+
6	0	-	+

7	–	–	+
8	–	0	+
9	–	+	+
10	–	+	0
11	–	+	0
12	0	+	–
Scénář	X	DX	DDX

Výsledkem segmentace jsou scénáře uvedené v tabulce 3.15. Tyto scénáře by měly odpovídat scénářům z tabulky 1.4. Scénáře v tabulce 3.15 představují množinu řešení $M_Q(X)$ neznámého modelu Q . Postupem popsáním v oddílu 2.3 lze z těchto scénářů zrekonstruovat trendový model $Q_M(X)$ ve tvaru

$$DDX + DX + X = 0. \quad (3.16)$$

Praktický komentář

Pro potřeby lineární rekonstrukce modelu jsou autorem vytvořeny vlastní počítačové programy. Jejich výstupem je uváděný model (3.16).

Model (3.16) je jen zjednodušenou verzí zápisu trendového modelu. Tento model lze pomocí kvalitativních konstant (1.5)–(1.6) přepsat takto

$$C_1 DDX + C_2 DX + C_3 X = 0. \quad (3.17)$$

Pro další práci s tímto modelem by bylo dobré znát konkrétní hodnoty konstant C_1 , C_2 a C_3 . Z modelu (3.16) je pouze vidět, že všechny konstanty jsou kladné. Model (3.17) lze tedy zapsat takto

$$(+) DDX + (+) DX + (+) X = 0. \quad (3.18)$$

Pokud jsou však známy i konkrétní hodnoty časové řady, lze hodnoty konstant C_1 , C_2 a C_3 odhadnout.

Tabulka 3.16 Hodnoty časové řady (Vlastní zpracování)

t	x	t	x	t	x
0	1	7,2	1,42	14,4	-1,82
0,4	1,39	7,6	1,12	14,8	-1,75
0,8	1,74	8	0,82	15,2	-1,66
1,2	2,05	8,4	0,52	15,6	-1,54
1,6	2,32	8,8	0,22	16	-1,41
2	2,54	9,2	-0,08	16,4	-1,25
2,4	2,72	9,6	-0,36	16,8	-1,09
2,8	2,84	10	-0,63	17,2	-0,91
3,2	2,92	10,4	-0,87	17,6	-0,72
3,6	2,95	10,8	-1,1	18	-0,53
4	2,93	11,2	-1,3	18,4	-0,34
4,4	2,86	11,6	-1,47	18,8	-0,14
4,8	2,75	12	-1,61	19,2	0,04
5,2	2,61	12,4	-1,72	19,6	0,22
5,6	2,42	12,8	-1,81	20	0,39
6	2,21	13,2	-1,86	20,4	0,55
6,4	1,96	13,6	-1,87	20,8	0,69
6,8	1,7	14	-1,86		

V tabulce 3.16 jsou uvedeny hodnoty časové řady z obrázku (3.25). Tyto hodnoty lze použít pro odhad konstant modelu (3.16). Převedením trendového modelu (3.16) na diferenciální rovnici tvaru

$$c_1 \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + c_2 \cdot \frac{dx}{dt} + c_3 \cdot x = 0 \quad (3.19)$$

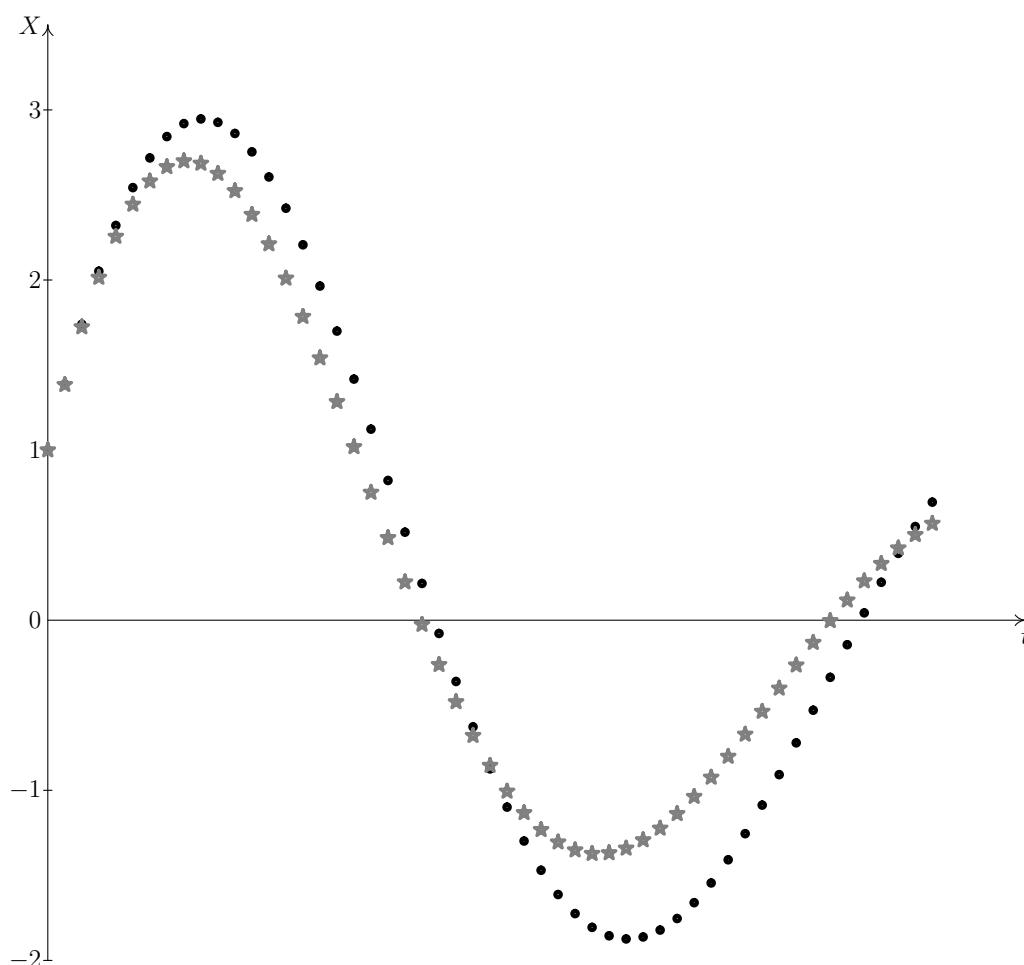
a její úpravou na diferenční rovnice

$$\begin{aligned} y_{k+1} &= y_k - \Delta t (m_1 y_k + m_2 x_k), \\ x_{k+1} &= x_k + \Delta t y_k, \end{aligned} \quad (3.20)$$

kde $m_1 = \frac{c_2}{c_1}$, $m_2 = \frac{c_3}{c_1}$, lze pro zvolené hodnoty c_1 , c_2 , c_3 vypočítat hodnoty x . Takto vypočtené hodnoty lze porovnat s hodnotami v tabulce 3.16. Jako

kritérium vhodnosti zvolených konstant lze použít součet kvadrátu rozdílů hodnot časové řady (viz tabulka 3.16) a hodnot získaných z rovnic (3.20). Tento součet charakterizuje stupeň přiblížení časové řady určené na základě zrekonstruovaného modelu k původní časové řadě.

Volbu konstant c_1, c_2, c_3 lze realizovat metodou Monte Carlo. Po provedení 50 simulací byla určena nejmenší hodnota součtu kvadrátu rozdílů, a to 65,04, pro odhady $\hat{c}_1 = 1, \hat{c}_2 = 0,11, \hat{c}_3 = 0,15$.



Obrázek 3.26 Časová řada a její rekonstrukce (Vlastní zpracování)

Na obrázku 3.26 je znázorněna původní časová řada, označená symbolem \bullet , a časová řada určená na základě zrekonstruovaného modelu, označená symbolem \star .

Závěr

V předkládané práci jsou představeny nové formální nástroje pro práci s velmi neurčitými informacemi v ekonomických rozhodovacích problémech. Tyto nové nástroje umožňují komplexní pohled na řešené ekonomické problémy s uvažováním i tak vágních aspektů, jako je například fáma. Tyto nástroje jsou založeny na trendovém modelování a rozhodovacích problémech za neurčitosti.

Hlavními výhodami navrhovaných nástrojů jsou:

- *Snadná formulace problému.*
- *Možnost řešit modely i bez znalosti konkrétních číselných dat.*
- *Množina řešení je nadmnožinou všech smysluplných řešení.*
- *Množina řešení představuje úplný seznam všech budoucích stavů.*
- *Zohlednění dynamiky ekonomických modelů.*
- *Snadná možnost přidávat další proměnné do modelu.*
- *Snadná srozumitelnost a interpretovatelnost výsledků bez hlubších znalostí sofistikovaných matematických nástrojů.*

Přínosy předkládané práce lze vidět jak v oblasti *akademické* a *vědecké*, tak i v oblasti *praxe*.

V *akademické oblasti* lze přínosy práce spatřit v možnosti demonstrovat studentům problémy, které vzhledem k své komplexnosti jsou tradičními metodami jen obtížně popsitelné a řešitelné. Zohlednění komplexnosti umožní studentům lépe pochopit a řešit ekonomické problémy s ohledem na jejich dopady na další obory lidské činnosti, například sociální oblast, politiku apod. Tento komplexní přístup k pochopení a řešení ekonomických modelů je v sou-

ladu s moderními výukovými trendy.

Ve *vědecké oblasti* lze přínosy práce spatřit v možnosti zapojení trendového modelování do klasických metod, kdy lineární rekonstrukce modelu pomocí trendů umožňuje vygenerovat „nejlepší“ trendový model, pro který je pomocí přístupu identifikace možné nalézt všechny kvantitativní konstanty, a tím zrekonstruovat kvantitativní model, řešitelný klasickými metodami. Další přínos práce lze spatřit v oblasti rozhodovacích problémů. Klasické nástroje rozhodovacích problémů jsou založeny na rozhodovacích stromech. Reálná využitelnost těchto rozhodovacích stromů je však omezena z důvodu obtížně zjistitelných parametrů, například pravděpodobností. Řešením je využití heuristik a kompromisního přístupu, který umožňuje integraci heuristik s dostupnými daty.

V *praktické oblasti* lze přínosy práce spatřit v možnosti komplexního přístupu k řešení ekonomických problémů. Úzce zaměřené modely nejsou v praxi bezprostředně použitelné, protože ignorují důležité aspekty, například vliv politiky na makroekonomické ukazatele, vliv fám na finanční trhy apod. Tyto aspekty dosud nebyly v teoriích uvažovány, přestože v reálných rozhodovacích problémech hrají důležitou roli. Bez uvažování těchto aspektů není možný systematický popis řešených problémů. Navrhovaný přístup umožňuje začlenění těchto aspektů do řešených ekonomických problémů a slouží jako generátor možných budoucích stavů řešeného modelu. Navíc jednoduchou modifikaci popisovaného přístupu lze použít i pro popis dalších aspektů, soupeření nových technologií na trhu, pronikání nového výrobku na trh (viz [93]), ale i v marketing, neboť falešné zprávy (fake news) jsou dnes běžně používány jako součást marketingových kampaní.

Literatura

- [1] *The Emperor's New Clothes [online]*. [vid. 2017-01-18]. Dostupné z: http://ponce.sdsu.edu/the_emperors_new_clothes.html.
- [2] JANG, S. M. a J. K. KIM. Third person effects of fake news: Fake news regulation and media literacy interventions. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2018, roč. 80, s. 295–302. Dostupné z: doi 10.1016/j.chb.2017.11.034.
- [3] KAPFERER, J. N. *Rumors: Uses, Interpretations, and Images*. Transaction Publishers, 2013. 284 s. ISBN 978-1-4128-5155-8.
- [4] MARO, P. V. *Aeneis: Kniha první [a druhá]*. I.L. Kober, 1941. 28 s.
- [5] NASO, P. O. *Proměny*. Praha: Státní nakladatelství krásné literatury, hudby a umění, 1956. 495 s.
- [6] AMANDA, S. *Goddesses in the Dust: Invidia and Nemesis - The Goddesses of Envy [online]*. [vid. 2017-01-19]. Dostupné z: <http://travelwithpersephone.blogspot.com/2014/06/goddesses-in-dust-invidia-and-nemesis.html>.
- [7] KNAPP, R. H. A Psychology of Rumor. *Public Opinion Quarterly*. 1944. roč. 8. Dostupné z: doi: 10.1086/265665.
- [8] contemporarylegend.org. *contemporarylegend.org [online]*. [vid. 2017-01-19]. Dostupné z: <https://contemporarylegend.org/>.
- [9] PETERSON, W. A. a N. P. GIST. Rumor and Public Opinion. *American Journal of Sociology*. 1951. roč. 57, č. 2, s. 159–167. ISSN 0002-9602.

-
- [10] ALLPORT, G. W. a L. POSTMAN. *The Psychology of Rumor*. 1. vyd. New York: Henry Holt and Company, 1947. 247 s. Dostupné z: doi: 10.1002/1097-4679(194710)3:4<402::AID-JCLP2270030421>3.0.CO.
- [11] HORNÍČEK, M. *Listy z Provence*. 1. vyd. Praha: Československý spisovatel, 1971. 140 s. ISBN 12-121-71.
- [12] DOSTÁL, P. *Soft computing v podnikatelství a veřejné správě*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. 1108 s. ISBN 978-80-7204-898-4.
- [13] FEDEWA N., E. KRAUSE a A. SISSON. Spreader of a Rumor. roč. 2013, 94-108.
- [14] PIQUEIRA, J. R. C. Rumor Propagation Model: An Equilibrium Study. *Mathematical Problems in Engineering*. 2010. roč. 2010, č. e631357, Dostupné z: doi: 10.1155/2010/631357.
- [15] *Fáma [online]*. [vid. 2017-01-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=F%C3%A1ma&oldid=12546564>.
- [16] KERMACK, W. O. a A. G. MCKENDRICK. Contributions of mathematical theory to epidemics. *Proceedings of the Royal Society Series A*. 1927. roč. 115, s. 700–721.
- [17] KERMACK, W. O. a A. G. MCKENDRICK. Contributions of mathematical theory to epidemics. *Proceedings of the Royal Society Series A*. 1932. roč. 139, s. 55–83.
- [18] KERMACK, W. O. a A. G. MCKENDRICK. Contributions of mathematical theory to epidemics. *Proceedings of the Royal Society Series A*. 1933. roč. 141, s. 94–122.
- [19] MURRAY, J. D. *Mathematical Biology II: Spatial Models and Biomedical Applications*. 3. vyd. New York: Springer, 2011. 814 s. ISBN 978-0-3879-5228-4.

-
- [20] PIQUEIRA, J. R. C., M. C. CASTANO a L. H. A. MONTEIRO. Modeling the spreading of HIV in homosexual populations with heterogeneous preventive attitude. *Journal of Biological Systems*. 2005. roč. 12, č. 4, s. 439–456.
- [21] SMITH, R. J. a L. M. WAHL. Drug resistance in an immunological model of HIV-1 infection with impulsive drug effects. *Bulletin of Mathematical Biology*. 2005. roč. 67, č. 4, s. 783–813.
- [22] GOFFMAN, W. a V. A. NEWILL. Generalization of epidemic theory: an application to the transmission of ideas. *Nature*. 1964. roč. 204, č. 4955, s. 225–228.
- [23] DALEY, D. J. a D. G. KENDALL. Epidemics and rumours. *Nature*. 1964. roč. 204, č. 4963, s. 11–18.
- [24] MORENO, Y., M. NEKOVEE a A. F. PACHECO. Dynamics of rumor spreading in complex networks. *Physical Review E*. 2004. roč. 69, s. 7.
- [25] NIZAMANI, S., N. MEMON a S. GALAM. From public outrage to the burst of public violence: An epidemic-like model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2014, roč. 416, s. 620–630. Dostupné z: doi: 10.1016/j.physa.2014.09.006.
- [26] GÂRLEANU, N., S. PANAGEAS a J. YU. Technological Growth and Asset Pricing. *The Journal of Finance*. 2012, roč. 67, č. 4, s. 1265–1292. Dostupné z: doi: 10.1111/j.1540-6261.2012.01747.x.
- [27] WANG, J., L. ZHAO a R. HUANG. SIRaRu rumor spreading model in complex networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2014. roč. 398, č. C, s. 43–55. Dostupné z: doi: 10.1016/j.physa.2013.12.004.
- [28] HUANG, J. a X. JIN. Preventing rumor spreading on small-world networks. *Journal of Systems Science and Complexity*. 2011. roč. 24, č. 3, s. 449–456. Dostupné z: doi: 10.1007/s11424-011-8303-1.
-

-
- [29] DOHNAL, M. A methodology for common-sense model development. *Computers in Industry*. 1991. roč. 16, s. 141–158. Dostupné z: doi: 10.1016/0166-3615(91)90086-O.
- [30] JIANG, P., Q. ZHOU, H. JIANG a Y. DONG. An Optimized Forecasting Approach Based on Grey Theory and Cuckoo Search Algorithm: A Case Study for Electricity Consumption in New South Wales. *Abstract and Applied Analysis*. 2014. s. e183095. Dostupné z: doi: 10.1155/2014/183095.
- [31] DAI, Y., D. HAN a W. DAI. Modeling and Computing of Stock Index Forecasting Based on Neural Network and Markov Chain. *The Scientific World Journal*. 2014. s. e124523. Dostupné z: doi: 10.1155/2014/124523.
- [32] ŽABKAR, J., M. MOŽINA, I. BRATKO a J. DEMŠAR. Learning qualitative models from numerical data. *Proceedings of the Twenty-Third International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 2013. s. 3195–3199.
- [33] LU, C. C. J. a Y. C. J. WU. Evaluation of Heuristics Using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Information Technology & Decision Making*. 2014. č. 13, s. 795–810. Dostupné z: doi: 10.1142/S0219622014500606.
- [34] ORRELL, D. a P. MCSHARRY. System economics: Overcoming the pitfalls of forecasting models via a multidisciplinary approach. *International Journal of Forecasting*. 2009. č. 25, s. 734–743. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ijforecast.2009.05.002.
- [35] ORRELL, D. a E. FERNANDEZ. Using predictive mathematical models to optimise the scheduling of anti-cancer drugs. *Innovations in Pharmaceutical Technology*. 2010. s. 58–62.
- [36] YAN, X., Y. ZHOU, Y. WEN a X. CHAI. Qualitative and Quantitative Integrated Modeling for Stochastic Simulation and Optimization. *Journal of Applied Mathematics*. 2013. s. e831273. Dostupné z: doi: 10.1155/2013/831273.
-

-
- [37] PAI, P. F., C. T. CHEN a W. Z. HUNG. Applying linguistic information and intersection concept to improve effectiveness of multi-criteria decision analysis technology. *International Journal of Information Technology & Decision Making*. 2014. č. 13, s. 291–315. Dostupné z: doi: 10.1142/S0219622014500436.
- [38] DOHNAL, M. a K. DOUBRAVSKY. Qualitative Upper and Lower Approximations of Complex Nonlinear Chaotic and Nonchaotic Models. *International Journal of Bifurcation and Chaos*. 2015. roč. 25, č. 13, s. 1550173. Dostupné z: doi: 10.1142/S0218127415501734.
- [39] KONECNY, J., T. VICHA a M. DOHNAL. Qualitative phase portrait of modified BlackScholes model. *Expert Systems with Applications*. 2010. č. 5, s. 3823–3826.
- [40] LIPMANN, O. a H. BOGEN. *Naive Physik: theoretische und experimentelle Untersuchungen über die Fähigkeit zu intelligentem Handeln*. 1. vyd. Barth, 1923. 154 s.
- [41] KLAPKA, J., J. DVOŘÁK a P. POPELA. *Metody operačního výzkumu*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1996. 154 s. ISBN 80-214-0817-0.
- [42] ASHBY, W. R. *Design for a brain*. J. Wiley, 1952. 259 s.
- [43] ZADEH, L. a E. POLAK. *System Theory*. 1. vyd. New York: McGraw-Hill, 1969. 521 s. ISBN 978-0-07-072747-2.
- [44] PARSONS, S. a M. DOHNAL. Qualitative, semiquantitative and interval algebras, and their application to engineering problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 1992. roč. 5, č. 6, s. 553–559. Dostupné z: doi: 10.1016/0952-1976(92)90031-E.
- [45] DOHNAL, M. a I. MEZNÍK. A Multidimensional Screening of Qualitative Optimization Scenarios. In: *Mathematical Research: Tools for Mathe-*

-
- mathematical Modelling*. Saint-Petersburg, Russia: The Saint-Petersburg State Technical University. 1999, roč. 4, s. 61–68.
- [46] MEZNÍK, I. *Základy matematiky pro ekonomii a management*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2017. 443 s. ISBN 978-80-214-5522-1.
- [47] VÍCHA, T. a M. DOHNAL. Qualitative identification of chaotic systems behaviours. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2008. č. 38, s. 70–78. Dostupné z: doi: 10.1016/j.chaos.2008.01.027.
- [48] MEZNÍK, I. *Matematika I*. 7. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 151 s. ISBN 80-214-3288-8.
- [49] HUNT, Brian R., J. A. KENNEDY, T.Y. LI a H. E. NUSSE. *The Theory of Chaotic Attractors*. 7. vyd. New York: Springer Science & Business Media, 2004. 514 s. ISBN 978-0-387-40349-6.
- [50] MARTIN, A., T. M. LAKSHMI a P. VENKATESAN. An Analysis on Qualitative Bankruptcy Prediction Rules using Ant-Miner. *International Journal of Intelligent Systems & Applications*. 2014. roč. 6, č. 1, s. 36–44. ISSN 2074-9058.
- [51] BEAVER, W. Financial Ratios as Predictors of Failure. *J. Account. Res.* 1966. č. 4, s. 77–111.
- [52] MEZNÍK, I. *Diskrétní matematika pro užitou informatiku*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 184 s. ISBN 978-80-214-4761-5.
- [53] MATOUŠEK, J. a J. NEŠETŘIL. *Kapitoly z diskrétní matematiky*. 4. vyd. Praha: Karolinum, 2010. 448 s. ISBN 978-80-246-1740-4.
- [54] ŠILLER, A. a P. POPELA. Algebraické a kombinatorické metody kvalitativního modelování. *Knížnice odborných a vědeckých spisů Vysokého učení technického v Brně*. 1988. roč. 1988, č. B-119, s. 239–258.

-
- [55] KROPÁČ, J. *Statistika A*. 3. vyd. Brno: Fakulta podnikatelská, 2008. 145 s. ISBN 978-80-214-3587-2.
- [56] ROS, L. M. *Engineering investment decision: planning under uncertainty*. 3. vyd. Amstrdam: Elsevier, 1976. 145 s. ISBN 978-0-444-41522-6.
- [57] DOUBRAVSKÝ, K. a M. DOHNAL. Reconciliation of Decision-Making Heuristics Based on Decision Trees Topologies and Incomplete Fuzzy Probabilities Sets. *PLoS ONE*. 2015, roč. 10, č. 7, s. e0131590. Dostupné z: doi: 10.1371/journal.pone.0131590.
- [58] DONDI, R., N. EL-MABROUK a K. M. SWENSON. Gene tree correction for reconciliation and species tree inference: Complexity and algorithms. *Journal of Discrete Algorithms*. 2014, roč. 25, č. 23, s. 51–65. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jda.2013.06.001.
- [59] VATS, S., G. VATS, R. VAISH a V. KUMAR. Selection of optimal electronic toll collection system for India: A subjective-fuzzy decision making approach. *Applied Soft Computing*. 2014, roč. 21, s. 444–452. Dostupné z: doi: 10.1016/j.asoc.2014.04.006.
- [60] DANIEL, K., D. HIRSHLEIFER a S. H. TEOH. Investor psychology in capital markets: evidence and policy implications. *Journal of Monetary Economics*. 2002, roč. 49, č. 1, s. 139–209.
- [61] STIGLIC, G., S. KOCBEK, I. PERNEK a P. KOKOL. Comprehensive Decision Tree Models in Bioinformatics. *PLoS ONE*. 2012, roč. 7, č. 3, s. e33812. Dostupné z: doi: 10.1371/journal.pone.0033812.
- [62] THIPWIWATPOTJANA, P. a W. A. LODWICK. Pessimistic, optimistic, and minimax regret approaches for linear programs under uncertainty. *Fuzzy Optimization and Decision Making*. 2014, roč. 13, č. 2, s. 151–171. Dostupné z: doi: 10.1007/s10700-013-9171-z.
- [63] KUZILEK, J., V. KREMEN, F. SOUCEK a L. LHOTSKA. Independent Component Analysis and Decision Trees for ECG Holter Recording De-
-

-
- Noising. *Plos One*. 2014, roč. 9, č. 6, s. e98450. Dostupné z: doi: 10.1371/journal.pone.0098450.
- [64] QIN, G., L. LUO, L. LV, Y. XIAO, J. TU, L. TAO, J. WU, X. TANG a W. PAN. Decision Tree Analysis of Traditional Risk Factors of Carotid Atherosclerosis and a Cutpoint-Based Prevention Strategy. *Plos One*. 2014, roč. 9, č. 11, s. e111769. Dostupné z: doi: 10.1371/journal.pone.0111769.
- [65] DUBOIS, D. On various ways of tackling incomplete information in statistics. *Journal of Approximate Reasoning*. 2014, roč. 55, č. 7, s. 1570–1574. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ijar.2014.04.002.
- [66] FARGIER, H., N. B. AMOR a W. GUEZGUEZ. On the Complexity of Decision Making in Possibilistic Decision Trees. *CoRR*. 2012, roč. arXiv: 1202.3718 Dostupné z: <http://arxiv.org/abs/1202.3718>.
- [67] DUBOIS, D., H. FARGIER a D. GUYONNET Data Reconciliation under Fuzzy Constraints in Material Flow Analysis. In: *8th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology*. B.m.: Atlantis Press, 2013. Dostupné z: doi: 10.2991/eusflat.2013.4.
- [68] PEDRYCZ, W., R. AL-HMOUZ, A. MORFEQ a A. S. BALAMASH. Building granular fuzzy decision support systems. *Knowledge-Based Systems*. 2014, roč. 58, s. 3–10. Dostupné z: doi: 10.1016/j.knosys.2013.07.022.
- [69] ZEINALKHANI, M. a M. EFTEKHARI. Fuzzy partitioning of continuous attributes through discretization methods to construct fuzzy decision tree classifiers. *Information Sciences*. 2014, roč. 278, s. 715–735. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ins.2014.03.087.
- [70] BRADSHAW, M. T. How Do Analysts Use Their Earnings Forecasts in Generating Stock Recommendations? *SSRN Scholarly Paper*. ID 256438. Rochester, NY: Social Science Research Network. 2000. Dostupné z: <http://papers.ssrn.com/abstract=256438>.
-

-
- [71] XIA, C. Y., S. W. SUN, Z. X. LIU, Z. Q. CHEN a Z. Z. YUAN. Epidemics of sirs model with nonuniform transmission on scale-free networks. *International Journal of Modern Physics B*. 2009, roč. 23, č. 9, s. 2203–2213. Dostupné z: doi: 10.1142/S021797920905211X.
- [72] DEHMER, M. a M. GRABNER. The Discrimination Power of Molecular Identification Numbers Revisited. *Match-Communications in Mathematical and in Computer Chemistry*. 2013, roč. 69, č. 3, s. 785–794. ISSN 0340-6253.
- [73] KYBURG J.R. a E. Henry. Bayesian and non-bayesian evidential updating. *Artificial Intelligence*. 1987, roč. 31, č. 3, s. 271–293. Dostupné z: doi: 10.1016/0004-3702(87)90068-3.
- [74] JUNG, J. J. Computational reputation model based on selecting consensus choices: An empirical study on semantic wiki platform. *Expert Systems with Applications*. 2012, roč. 39, č. 10, s. 9002–9007. Dostupné z: doi: 10.1016/j.eswa.2012.02.035.
- [75] KASHKOUSH, M. a H. ELMARAGHY. Matching Bills of Materials Using Tree Reconciliation. *Procedia CIRP*. 2013, roč. 7, s. 169–174. Dostupné z: doi: 10.1016/j.procir.2013.05.029.
- [76] ALHAJ-DIBO, M., D. MAQUIN a J. RAGOT. Data reconciliation: A robust approach using a contaminated distribution. *Control Engineering Practice*. 2008, roč. 16, č. 2, s. 159–170. Dostupné z: doi: 10.1016/j.conengprac.2007.01.003.
- [77] SUNDAR, S. a A. SINGH. New heuristic approaches for the dominating tree problem. *Applied Soft Computing*. 2013, roč. 13, č. 12, s. 4695–4703. Dostupné z: doi: 10.1016/j.asoc.2013.07.014.
- [78] RUTKOWSKI, L., M. JAWORSKI, L. PIETRUCZUK a P. DUDA. The CART decision tree for mining data streams. *Information Sciences*. 2014, roč. 266, s. 1–15. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ins.2013.12.060.
-

-
- [79] MONEKOSSO, D. N. a P. REMAGNINO. Data reconciliation in a smart home sensor network. *Expert Systems with Applications*. 2013, roč. 40, č. 8, s. 3248–3255. Dostupné z: doi: 10.1016/j.eswa.2012.12.037.
- [80] ZHANG, Z., Z. SHAO, X. CHEN, K. WANG a J. QIAN. Quasi-weighted least squares estimator for data reconciliation. *Computers & Chemical Engineering*. 2010, roč. 34, č. 2, s. 154–162. Dostupné z: doi: 10.1016/j.compchemeng.2009.09.007.
- [81] TAN, R. R., L. M. A. BRIONES a A. B. CULABA. Fuzzy data reconciliation in reacting and non-reacting process data for life cycle inventory analysis. *Journal of Cleaner Production*. 2007, roč. 15, č. 10, s. 944–949. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jclepro.2005.09.001.
- [82] HUANG, G. a R. D. MOORE. Grey linear programming, its solving approach, and its application. *International Journal of Systems Science*. 1993, roč. 24, č. 1, s. 159–172. Dostupné z: doi: 10.1080/00207729308949477.
- [83] CAO, S., M. DEHMER a Y. SHI. Extremality of degree-based graph entropies. *Information Sciences*. 2014, roč. 278, s. 22–33. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ins.2014.03.133.
- [84] Scilab. *Scilab: Home*[online]. [cit. 2015-6-28]. Dostupné z: <http://www.scilab.org>.
- [85] DOSKOČIL, R. a K. DOUBRAVSKÝ. Identifying of Profitability of the Client under Condition of Uncertainty. In: *Innovation Vision 2020: From Regional Development Sustainability to Global Economic Growth..* Amsterdam, Netherlands: International Business Information Management Association (IBIMA). 2015, roč. 25, s. 2587–2595. ISBN 978-0-9860419-4-5.
- [86] PALMON, D., E. F. SUDIT a A. YEZEGEL. The value of columnists' stock recommendations: an event study approach. *Review of Quantitative*

-
- Finance and Accounting*. 2009, roč. 33, č. 3, s. 209–232. Dostupné z: doi: 10.1007/s11156-009-0114-2.
- [87] SEYMOUR-URE, C. *Prime Ministers and the Media: Issues of Power and Control*. Wiley-Blackwell, 2003. 282 s. ISBN 978-0-631-18767-7.
- [88] MANKIN, N. G. *Principles of Macroeconomics*. Cengage Learning, 2014. 576 s. ISBN 978-1-305-15606-7.
- [89] MELUZÍN, T., M. PIETRZAK, A. BALCERZAK, M. ZINECKER, K. DOUBRAVSKÝ a M. DOHNAL. Rumours Related to Political Instability and their Impact on IPOs: The Use of Qualitative Modelling with Incomplete Knowledge. *Polish Journal of Management Studies*. 2017, roč. 16, s. 171–187. Dostupné z: doi: 10.17512/pjms.2017.16.2.15.
- [90] JOVANOVIĆ, B. a P. L. ROUSSEAU. Interest Rates and Initial Public Offerings. *National Bureau of Economic Research*. 2004, Working Paper Series, č. 10298. Dostupné z: doi: 10.3386/w10298.
- [91] KUBÍČKOVÁ, A., M. DOHNAL a K. DOUBRAVSKÝ. Qualitative decision-making model of investment into start-up companies. *International Journal of Technology Intelligence and Planning*. 2014, roč. 9, č. 3, Dostupné z: doi: 10.1504/IJTIP.2013.059656.
- [92] DOUBRAVSKÝ, K. a M. DOHNAL. Qualitative equationless macroeconomic models as generators of all possible forecasts based on three trend values— increasing, constant, decreasing. *Structural Change and Economic Dynamics*. 2018, roč. 2018, Dostupné z: doi: 10.1016/j.strueco.2018.01.001.
- [93] DOHNAL, M. a K. DOUBRAVSKÝ. Equationless and equation-based trend models of prohibitively complex technological and related forecasts. *Technological Forecasting and Social Change*. 2016, roč. 111, s. 297–304. Dostupné z: doi: 10.1016/j.techfore.2016.07.031.
-

Seznam tabulek

1.1	Význam proměnných S , I a R	21
1.2	Kvalitativní součet	34
1.3	Kvalitativní součin	34
1.4	Trendové řešení tlumeného kmitání	36
1.5	Trendové řešení buzeného kmitání	37
1.6	Trendové řešení harmonického pohybu	39
1.7	Označení vztahů z obrázku 1.10	42
1.8	Řešení bankrotního modelu (1.35)	47
1.9	Kladná řešení bankrotního modelu (1.35)	48
1.10	Transformační tabulka	51
1.11	Trendové řešení tlumeného kmitání	52
1.12	Trendové řešení buzeného kmitání	55
1.13	Trendové řešení harmonického pohybu	56
1.14	Kladná řešení bankrotního modelu	59
2.1	Redukovaná transformační tabulka	71
2.2	Řešení bankrotního modelu při zanedbání druhých derivací	72
2.3	Časové ohodnocení přechodů	78
2.4	Dvě řešení bankrotního modelu	81
2.5	Ohodnocení přechodů dle proměnných	81

2.6	Množina dostupných řešení M_Q	86
2.7	Rovnice Q_{M1}	86
2.8	Rovnice Q_{M2}	86
2.9	Význam jednotlivých uzlů	100
2.10	Význam jednotlivých hran	101
2.11	Hodnoty zisku	101
2.12	Dělicí poměry uzlů	102
2.13	Pravděpodobnosti uzlů	103
2.14	Dodatečné pravděpodobnosti pro uzel 4	103
2.15	Výsledné pravděpodobnosti	104
2.16	Detaily řešení	105
3.1	Řešení modelu (3.2)	109
3.2	Řešení modelu při zanedbání druhých derivací	115
3.3	Symbody vývojových tendencí pro (X, DX, \star)	117
3.4	Řešení modelu při zanedbání druhých derivací	119
3.5	Řešení modelu s promořeností	121
3.6	Řešení smíšeného modelu Q_S	124
3.7	Redukované řešení smíšeného modelu	127
3.8	Tendence vývoje proměnných redukovaného smíšeného modelu	127
3.9	Řešení smíšeného kvalitativního modelu (3.11)	132
3.10	Redukované řešení smíšeného kvalitativního modelu (3.11) . .	133
3.11	Řešení IPO	141
3.12	Změna proměnných	145
3.13	Pravděpodobnosti (Pst.) přechodů	146
3.14	Predikce vývoje proměnných	146

3.15 Scénáře	149
3.16 Hodnoty časové řady	151

Seznam obrázků

1.1	Císařovi nové šaty	15
1.2	Fáma	17
1.3	Schéma	22
1.4	Schéma	24
1.5	Grafická vyjádření prohlášení H_1	28
1.6	Grafická vyjádření prohlášení H_2	29
1.7	Tlumené kmitání	36
1.8	Buzené kmitání (Vlastní zpracování)	39
1.9	Harmonický pohyb	40
1.10	Grafické vyjádření heuristik	41
1.11	Rostoucí trend	44
1.12	Rostoucí trend	44
1.13	Rostoucí trend	44
1.14	Klesající trend	45
1.15	Klesající trend	45
1.16	Klesající trend	45
1.17	Grafické vyjádření párových vztahů	47
1.18	Přechodový graf G	50
1.19	Přechodový graf G tlumeného kmitání	53

1.20	Přechodový graf G buzeného kmitání	55
1.21	Přechodový graf G harmonického pohybu	57
1.22	Přechodový graf G bankrotního modelu	58
1.23	Přechodový graf G pro kladná řešení bankrotního modelu	60
1.24	Rozhodovací strom	65
1.25	Rozhodovací strom - podklady pro rozhodnutí	67
2.1	Přechodový graf G při zanedbání druhých derivací	74
2.2	Přechodový graf G	75
2.3	Trendový strom O	76
2.4	Přechodový graf s ohodnocením hran	79
2.5	Trendový strom	80
2.6	Trendový strom s vyznačenými koncovými uzly	80
2.7	Přechodový graf s ohodnocením hran	83
2.8	Trendový strom	84
2.9	Trendový strom s vyznačenými koncovými uzly	84
2.10	Rozhodovací strom	89
2.11	Průtok j -tým uzlem	91
2.12	Trojúhelníková funkce příslušnosti	95
2.13	Rozhodovací strom	98
2.14	Rozhodovací strom	100
3.1	Numerické řešení modelu (1.1)	108
3.2	Rostoucí trendy a jejich triplety	110
3.3	Klesající trendy a jejich triplety	110
3.4	Vrchol	110

3.5	Přechodový graf G	111
3.6	Grafická interpretace proměnné R	112
3.7	Vývoj počtu tajníků	112
3.8	Numerické řešení a příslušné scénáře	113
3.9	Numerické řešení modelu (1.1)	114
3.10	Přechodový graf G při zanedbání druhých derivací	115
3.11	Vývoj počtu šířitelů	118
3.12	Numerické řešení a příslušné scénáře	118
3.13	Přechodový graf G při zanedbání druhých derivací	122
3.14	Grafické znázornění párového vztahu 4Γ	123
3.15	Přechodový graf	126
3.16	Přechodový graf	127
3.17	Investice do produktu V - počáteční stav	129
3.18	Investice do produktu V - podklady pro rozhodnutí	135
3.19	Přechodový graf	142
3.20	Trendový strom	144
3.21	Přechodový graf s ohodnocením hran	145
3.22	Grafické znázornění tripletů z tabulky 3.14	147
3.23	Vývoj proměnné R_a v čase	147
3.24	Časové řady	148
3.25	Vývoj proměnné X v čase	149
3.26	Časová řada a její rekonstrukce	152

A

analýza

trendová, 31, 85

B

bilanční rovnice, 88

D

dostatečně rovno, 93

E

Epidemiologie, 19

F

fake news, 15

falešná zpráva, 15

fáma, 14, 18

negativní, 16

pozitivní, 16

fuzzy kompromis, 94

H

harmonický pohyb, 35

I

ignorants, 20

informace

dodatečná, 76

IPO, 136

K

kmitání

buzené, 35

tlumené, 35

kritérium

nákladové, 62

výnosové, 62

kvalitativní

konstanta, 31

proměnná, 31

kvalitativní součet, 33

kvalitativní součin, 33

M

metoda

α -řezů, 94

max-min, 94

Monte Carlo, 97

objektivní, 27

subjektivní, 27

model

bankrotní, 46

Black-Scholes, 49

DK, 20

-
- dynamické chování, 22
epidemiologický, 19
kvalitativní, 34, 41
SIR, 20
SIRaRu, 24
smíšený, 49
trendový, 26
- N**
nevědomost
 celková, 68, 93
 částečná, 93
neznalí, 21
- O**
orientovaný graf, 49
orientovaný sled, 50
 otevřený, 50
 uzavřený, 50,54
- P**
párový vztah, 41
populace, 20
pravidlo
 očekávané hodnoty, 64
 očekávaného užitku, 65
predikce, 52
produkt, 128
prohlášení, 28, 40
proměnná
 cílová, 143
 mimo kontrolu, 143
 rozhodovací, 143
- průběh funkce, 113
přechodový graf, 37, 49
 redukovaný, 72
 souvislý, 50
- R**
rekonstrukce
 lineární, 85
rozhodnutí, 62
rozhodovatel, 62, 142
rozhodování, 62
- Ř**
řešení rozhodovacího problému, 61
- S**
scénář, 33
situace, 62
spreaders, 20
statistický ukazatel, 76
stiflers, 20
strom
 kvalitativní, 70
 rozhodovací, 65, 128
 trendový, 74
- Š**
širitelé, 21
- T**
tajnůstkáři, 21
terminál, 66
transformační tabulka, 50
trend
-

klesající, 26, 46
konstantní, 26
lineární, 43
rostoucí, 26, 43
trendové modelování, 26
triplet, 32

U

ustálený stav, 35, 39, 48
uzel
 koncový, 66
 rozhodovací, 65
 situační, 66

Ú

účastník
 indiferentní, 62, 142
 racionální, 62

V

varianty, 62
vstupní informace
 dostatek, 25
 nedostatek, 25
 zjistitelnost, 25
 zkreslenost, 25

Z

znalosti
 hluboké, 27
 povrchní, 27, 40
zpětný chod, 66